

Jussi Tolonen

## **Pienjänniteverkon vikojen analysointi**

### **Sähkötekniikan korkeakoulu**

Diplomityö, joka on jätetty opinnäytteenä tarkastettavaksi  
diplomi-insinöörin tutkintoa varten Espoossa 23. helmikuuta 2015

Työn valvoja

Prof. Matti Lehtonen

Työn ohjaaja:

Prof. Matti Lehtonen

Tekijä: Jussi Tolonen		
Työn nimi: Pienjänniteverkon vikojen analysointi		
Päivämäärä: 23.02.2015	Kieli: Suomi	Sivumäärä: 7+69
Sähkötekniikan laitos		
Professori: Sähköverkot ja suurjännitetekniikka		
Koodi: S-18		
Valvoja: Prof. Matti Lehtonen		
Ohjaaja: Prof. Matti Lehtonen		
<p>Tämän diplomityön tarkoituksena on analysoida pienjänniteverkossa tapahtuneita vikoja. Analysointi käydään Loiste Sähköverkko Oy:n vuosien 2005 – 2014 aikana keräämistä PJ-verkon vikatilastoista. Työssä käytetään myös erään toisen suomalaisen verkkoyhtiön lähettämiä pienjänniteverkon vikatilastoja saatujen tulosten vertailemiseen ja tutkimustulosten johtopäätöksiin.</p> <p>Analysointiin kuuluu vikatyyppejen ja niiden aiheuttajien vertailu erikseen ilmajohto- ja kaapeliverkossa. Työssä verrataan myös tapahtuneiden vikojen kestoajoja kummassakin verkkotyypissä. Lisäksi selvitetään, minkälainen vaikutus luonnonilmiöllä on vikojen syntyyn. Lopuksi määritellään vikataajuudet ilmajohto- ja kaapeliverkossa. Tällä saadaan analysoida kummankin verkkotyypin vika-alttius. Työhön liittyy myös pien- ja keskijänniteverkkojen vikojen vaikutusten vertailu asiakkaiden kokemiin sähkökatkoksiiin.</p> <p>Työn toinen tärkeä tarkoitus on tutkia pienjänniteverkon vikatilastointiprosessia ja kehittää sitä tehokkaammaksi. Prosessi vaatii paljon työtunteja, joten sen kehittäminen tehokkaammaksi on hyvin oleellista, sillä se toisi muun muassa säästöjä ja nopeuttaisi tilastointia.</p> <p>Vikojen tapahtuu tulosten mukaan ilmajohtoverkoissa noin 70 prosenttia enemmän kuin kaapeliverkoissa. Tulokset osoittavat, että suurin vaikutus PJ-verkon vikoihin on luonnonilmiöillä, maan kaivulla ja puun kaadolla. Saatujen tulosten perusteella kaksi yleisintä vikatyyppeä pienjänniteverkossa ovat poikki menneet johdot/kaapelit ja yhdessä olevat johtimet. Näitä voidaan vähentää kaapeloimalla ilmajohtoverkkoa, siirtämällä ilmajohtoverkkoa pois metsäisiltä alueilta, raivaamalla metsää verkon lähetyviltä ja merkitsemällä maakaapeleiden sijainnit paremmin, jotta välttyttäisiin tahattomilta maan kaivun aiheuttamilta vioilta.</p> <p>Vaikka vikoja esiintyy enemmän pienjänniteverkon puolella, keskijänniteverkossa tapahtuvat viat aiheuttavat eniten sähkönjakelun katkoksia asiakkaille. Tähän on syynä asiakkaiden eri määrät muuntopiireillä.</p>		
Avainsanat: pienjänniteverkko, viat, vikojen analysointi, pienjänniteverkon suojaus, vikatilastointi		

Author: Jussi Tolonen Title: Analysis of faults in low voltage network Date: 23.02.2015                      Language: Finnish                      Number of Pages: 7+69		
Department of Electrical Engineering Professorship: Power Systems and High Voltage Engineering Code: S-18		
Supervisor: Prof. Matti Lehtonen Instructor: Prof. Matti Lehtonen		
<p>The aim of this thesis is to analyze faults in low voltage network. The main purpose is to analyze the faults which have happened in Loiste Sähköverkko Oy Company's LV network in years 2005 – 2014. There are other low voltage network fault statistics of other Finnish network company in this thesis, so that it is easy to compare the results and make better conclusions.</p> <p>The analysis includes comparison of fault types and causes of the faults for overhead lines and cable networks. There is also analysis of the duration of faults in both types of network. The analysis will also clarify what kind of impact natural phenomenon have the creation of faults. Finally, in this thesis are shown failure rates in overhead lines and cable networks, so that it is easy to define the fault susceptibility in both types of network. One major thing about this thesis is to compare the effect of low and medium voltage networks' failures for customers experienced power outages.</p> <p>Another important and relevant purpose is to examine the fault statistics of low voltage network and develop it more effective. The process requires a lot of work hours, so the development is relevant because it would save the money and speed up the statistics.</p> <p>Faults happen about 70 percent more in overhead lines than in cable networks. The results show that the greatest impact on the LV network faults are natural phenomenon, excavations and falling trees. Based on the results the most common fault type in low voltage network is broken line or cable. Second common situation is when wires are in contact with each other. These kind of fault conditions can be reduced by cabling the overhead lines, moving it out of the forested areas, clearing the forest nearby the network and marking the locations of the cables better, to avoid accidental excavation caused faults.</p> <p>Even though faults happen more in low voltage network than in medium voltage network faults in MV network cause the most of the power failure for customers.</p>		
Keywords: low voltage network, faults, analysis of faults, protection of low voltage network, fault statistics		

## ALKUSANAT

Tämä diplomityö on tehty Aalto-yliopiston Sähkötekniikan korkeakoulun Sähkötekniikan laitoksella Sähköjärjestelmien tutkimusryhmässä. Työtä varten tärkeät vikatilastot on saatu Loiste Sähköverkko Oy:ltä ja Suur-Savon Sähkö Oy:ltä.

Haluan kiittää diplomityöni valvojaa ja ohjaajaa professori Matti Lehtosta erittäin mielenkiintoisesta ja ajankohtaisesta aiheesta sekä asiantuntevista kommentteista ja palautteista. Kiitokset myös Loiste Sähköverkko Oy:n DI Jussi Niskaselle ja käyttöpäällikkö Ismo Reinikalle yritysvierailusta, useista neuvoista, tiedoista ja tärkeistä tilastoista, joita ilman työtä ei olisi voitu tehdä. Kiitän myös Suur-Savon Sähkö Oy:n käyttöinsinööri Hannu Rautiota tärkeistä vikatilastoista.

Suuri kiitos kuuluu puolisololleni Siskolle, joka on tukenut minua koko opiskeluiden ajan. Erityiskiitokset ansaitsevat myös vanhempani Matti ja Marja-Terttu, joiden tuki ja kannustus ovat auttaneet valtavasti minua opiskeluissani.

Espoossa 23.2.2015

Jussi Tolonen

# SISÄLTÖ

TIIVISTELMÄ .....	ii
ABSTRACT .....	iii
ALKUSANAT .....	iv
SISÄLTÖ .....	v
LYHENTEET JA MÄÄRITELMÄT .....	vii
<b>1 JOHDANTO .....</b>	<b>1</b>
1.1 Työn tavoitteet .....	2
1.2 Työn rakenne .....	2
<b>2 PIENJÄNNITEVERKKO .....</b>	<b>4</b>
2.1 Muuntamot .....	5
2.2 Pienjänniteverkko haja-asutusalueella ja taajamassa .....	6
2.3 Johdintyytit .....	7
2.4 Eurooppalainen ja pohjoisamerikkalainen jakelujärjestelmä .....	8
<b>3 VIAT PIENJÄNNITEVERKOSSA .....</b>	<b>10</b>
3.1 Ilmajohdot .....	11
3.1.1 Vaihevika .....	12
3.1.2 Nollavika .....	12
3.2 Maakaapelit .....	13
3.2.1 Ohimenevät viat .....	15
3.2.2 Ajoittaiset viat .....	16
3.2.3 Jatkuvat viat .....	17
3.2.4 Pysyvät viat .....	17
<b>4 PIENJÄNNITEVERKON SUOJAUS .....</b>	<b>18</b>
4.1 Maadoitukset .....	19
4.2 Ylikuormitussuojaus .....	20
4.3 Oikosulkusuojaus .....	22
4.4 Ylijännitesuojaus .....	24
4.5 Esimerkkejä sulakesuojauksesta AMKA- ja kaapeliverkossa .....	25
<b>5 VIKOJEN HAVAITSEMINEN JA PAIKANTAMINEN .....</b>	<b>28</b>
5.1 AMR .....	28
5.2 Pienjänniteverkon vikatilastointi .....	29
<b>6 VIKOJEN ANALYSOINTI .....</b>	<b>32</b>
6.1 Loiste Sähköverkko Oy .....	32
6.1.1 Vikatyypit ja niiden aiheuttajat ilmajohtoverkossa .....	33
6.1.2 Vikatyypit ja niiden aiheuttajat kaapeliverkossa .....	39
6.1.3 Vikojen kestojen vertailua ilmajohto- ja kaapeliverkossa .....	46
6.1.4 Luonnonilmiöiden vaikutus .....	48
6.1.5 Viat kuukausitasolla .....	50
6.1.6 Vikataajuudet .....	51
6.2 Loiste Sähköverkon keski- ja pienjänniteverkon vikojen vertailu .....	53

<b>7</b>	<b>JOHTOPÄÄTÖKSET .....</b>	<b>55</b>
7.1	Vikatyyppeiden ja niiden aiheuttajien tarkastelu.....	55
7.2	Vikojen kestojen tarkastelu .....	57
7.3	Vikojen kuukausitason tarkastelu .....	57
7.4	Vikataajuuksien tarkastelu .....	58
7.5	Keski- ja pienjänniteverkon vikojen tarkastelu.....	59
<b>8</b>	<b>YHTEENVETO .....</b>	<b>60</b>
	<b>LÄHTEET .....</b>	<b>62</b>
	<b>LIITTEET.....</b>	<b>67</b>

## LYHENTEET JA MÄÄRITELMÄT

### Lyhenteet

$a$	vuosi
$C$	kapasitanssi
$I$	virta
$l$	pituus
$R$	resistanssi
$r$	ominaisresistanssi
$U$	jännite
$X$	reaktanssi
$x$	ominaisreaktanssi

### *Alaindeksit*

$j$	johto
$k$	oikosulku
$m$	muuntaja
$n$	nimellinen
$t$	aika
$v$	vaihe
$0$	nollajohdin

### Määritelmät

AMKA	Pienjänniteverkon riippukierrejohto.
AXMK	Pienjänniteverkon maakaapeli.
AMR	Automatic Meter Reading, automaattinen mittarinluenta.
gG	Johdon ylikuormitus- ja oikosulkusuojaaksi tarkoitettu sulaketyyppi.
IT	Maasta erotettu järjestelmä.
JK	Jakokaappi
KJ	Keskijännite
PEN	Yhdistetty nolla- ja suojajohdin.
PJ	Pienjännite
TN	Maadoitusjärjestelmä, jossa jakelumuuntajan toisio on maadoitettu nollajohtimen kautta.
TT	Maadoitusjärjestelmä, jossa jakelumuuntajan toisio ja jännitteelle alttiiden laitteiden rungot on maadoitettu.

# 1 JOHDANTO

Sähkönjakeluverkot ovat tärkeä osa yhteiskunnan infrastruktuuria. Luotettavasta sähkönjakelusta on tullut nyky-yhteiskunnan toimivuuden kannalta hyvin tärkeää. Toimintavarmuutta parantamalla, esimerkiksi kaapeloinnilla, saadaan vähennettyä sähkökatkosien aiheuttamia haittoja.

Suomessa jakeluverkko jaetaan pien- ja keskijänniteverkkoihin. Pienjännitteisen verkon osuus on noin 239 000 johtokilometriä, kun keskijänniteverkon pituus on noin 139 000 johtokilometriä (Energiateollisuus 2014a). Suomessa pienjänniteverkkojen osuus on siis noin 63 prosenttia koko jakeluverkosta. Näin ollen PJ-verkolla on hyvin suuri merkitys luotettavan sähkönjakelun kannalta. Suurin osa Suomen pienjänniteverkkoa on ilmajohtoverkkoa (n. 61 %), jotka ovat hyvin vika-alttiita. Erityisesti viime vuosina lisääntyneet ilmaston ääri-ilmiöt ovat saaneet verkkoyhtiöt suunnittelemaan säävarmoja verkkoratkaisuita.

Suurin osa sähkönkäyttäjien kokemista sähkökatkoksista aiheutuu keskijänniteverkossa tapahtuvista vioista. Vaikka pienjänniteverkossa vikoja tapahtuu enemmän, ne aiheuttavat sähkönjakelun keskeytyksiä asiakkaille vähemmän kuin keskijänniteverkon vikojen tapauksissa. Tämä johtuu siitä, että pienjänniteverkossa yhden syöttöpisteen takana on huomattavasti vähemmän asiakkaita kuin keskijänniteverkossa.

Sähkönjakelu- ja siirtoverkot on rakennettu Suomeen pääosiltaan 1960 – 1980 luvuilla (Energiavirasto 2009). Tämä tarkoittaa sitä, että suurin osa sähköverkosta on tulossa elinkaarensa päähän. Suomen ilmajohtoverkko on niin ikään vanhaa, joten on hyvin ajankohtaista keskustella ja tutkia, minkälaisilla verkkoratkaisuille nykyiset jakeluverkot ja eritoten pienjännitteiset ilmajohtoverkot tulisi korvata.

Tyypillisimpiä pienjänniteverkon vikatyyppejä ovat poikkimenneet ja yhdessä olevat johdot, oikosulut ja liitinviat. Nämä aiheuttavat vaihe- ja nollavikoja, jotka ovat hyvin vaarallisia. Ne aiheuttavat muun muassa hengen- ja tulipalonvaaraa. Pienjännitteisillä ilmajohto- ja kaapeliverkoilla vikoja tulee analysoida erikseen, sillä vikojen aiheuttajat eroavat toisistaan eri verkkotyypeissä. Ilmajohtoverkoilla merkittävimmät vikojenaiheuttajat ovat luonnonilmiöt ja puun kaatuminen johtojen päälle. Kaapeliverkoissa puolestaan maan kaivu on yksi yleisin syy vikojen syntyyn.

Perinteisesti automaatio ei tee hälytystä pienjänniteverkkojen vioista, vaan tieto vikatapauksista saadaan asiakkailta. Keskijännitepuolella vikojen havaitsemiseen puolestaan käytetään automaatiota. Etäluettavien mittareiden kehityttyä verkonhaltijan on kuitenkin mahdollista saada automaattisesti tieto myös pienjänniteverkossa tapahtuneista keskeytyksistä.



## 1.1 Työn tavoitteet

Tämän diplomityön tarkoitus on analysoida verkkoyhtiöltä saatuja tilastoja pienjänniteverkossa tapahtuneista vioista. Työn kannalta tärkeät tilastot on saatu Loiste Sähköverkko Oy:ltä (entiseltä E.ON-Yhtiöltä). Tässä työssä käytetään vuosien 2005 – 2014 aikana tilastoituja PJ-verkon vikoja. Näin riittävän pitkällä aikavälillä pyritään saamaan luotettavat tulokset tutkitusta aiheesta.

Tämän työn päätavoitteena on tutkia vikoja erikseen ilmajohto- ja kaapeliverkossa. Tavoitteena on eritellä vikatyyppejä ja vikojen aiheuttajia kummassakin verkkotyypissä. Tässä työssä pyritään myös analysoimaan vikojen kestoja vikatyypeittäin ja vian aiheuttajittain. Pienjänniteverkkojen vikaantumisalttiutta tutkitaan määrittelemällä kumpaankin verkkotyyppiin vikataajuudet. Vikataajuus kertoo, kuinka monta vikaa tapahtuu keskimäärin 100 km:ä kohti vuodessa.

Tässä työssä verrataan myös pien- ja keskijänniteverkoissa tapahtuvia vikoja ja niiden vaikutuksia sähkönkäyttäjille. Analysointiin kuuluu vikojen ja niiden aiheuttamien asiakaskertojen määrien vertailu kummassakin jännitetasossa. Tässä diplomityössä tutkitaan erikseen vikakeskeytysten ja suunniteltujen keskeytysten aiheuttamia asiakaskertoja ja -tunteja asiakkaille. Tällä pyritään selvittämään pienjänniteverkoissa tapahtuvien vikojen todellinen merkitys asiakkaiden kokemissa sähkönjakelun katkoksissa.

Toinen päätavoite tässä diplomityössä on selvittää nykyisen pienjänniteverkon vikatilastoinnin kulkua ja pyrkiä löytämään keino, jolla tätä prosessia pystyttäisiin tulevaisuudessa tehostamaan.

## 1.2 Työn rakenne

Luvussa kaksi käsitellään pienjänniteverkon rakennetta ja toimintaa Suomessa. Lisäksi luvussa esitellään maailmalla yleiset eurooppalaiset ja pohjoisamerikkalaiset sähkönjakelujärjestelmät ja selvitetään niiden eroja toisistaan.

Kolmannessa luvussa keskitytään pienjänniteverkon vikoihin. Tässä esitetään tyypillisimpiä PJ-verkon vikoja. Samalla kuvataan vikojen tyyppejä ilmajohto- ja kaapeliverkossa.

Luku neljä keskittyy pienjänniteverkkojen suojaukseen. Luvussa esitetään tyypillisimmät suojaustavat, joita ovat maadoitus, ylikuormitussuojaus, oikosulkusuojaus ja ylijännitesuojaus. Luvun lopussa yhteenvetona esitetään esimerkkejä tyypillisestä ilmajohto- ja kaapeliverkon sulakesuojauksesta.

Viidennessä luvussa puolestaan paneudutaan vikojen havaitsemiseen ja paikantamiseen. Tässä luvussa esitetään aluksi etäluettavat mittarit eli AMR-mittarit (Automatic Meter Reading). Luvun lopussa kuvataan erään suomalaisen verkkoyhtiön vikatilastointia pienjänniteverkon puolella. Samalla pyritään löytämään ratkaisu, jolla tätä prosessia voidaan tulevaisuudessa tehostaa.

Kuudennessa luvussa analysoidaan eri verkkoyhtiöiltä saatuja tilastoja pienjänniteverkossa tapahtuneista vioista. Analysointiin kuuluu muun muassa vikojen kestoajkojen ja vikataajuuksien määrittäminen. Samassa luvussa verrataan myös pien- ja keskijänniteverkkojen vikojen vaikutuksia sähkönkuluttajille. Siinä tutkitaan erikseen vikakeskeytyksiä ja suunniteltuja keskeytyksiä ja niiden vaikutuksia asiakkaiden kokemiin sähkönjakelun keskeytyksiin.

Tämän työn johtopäätökset esitetään luvussa seitsemän. Johtopäätökset ovat työn tärkein osio, jossa analysoituja tuloksia käsitellään syvällisemmin ja tehdään lopulliset päätelmät tutkitusta aiheesta. Työn lopussa luvussa kahdeksan tehdään yhteenveto diplomityöstä.

## 2 PIENJÄNNITEVERKKO

Tässä luvussa esitellään aluksi yleisesti Suomen pienjänniteverkkoa osana sähköjakelujärjestelmää. Lisäksi perehdytään tarkemmin pienjänniteverkon ominaisuuksiin ja sen rakenteeseen. Luvun loppupuolella verrataan myös eurooppalaista ja pohjoisamerikkalaista sähköjakelujärjestelmää, jotka ovat hyvin yleisesti käytettyjä maailmalla. Euroopassa eri maiden sähköjakelujärjestelmät ovat rakenteeltaan melko samanlaisia. Jännitetasot voivat hieman kuitenkin vaihdella eri maiden kesken.

Pienjänniteverkko on osa jakelujärjestelmää ja sähköjakeluverkkoa. Sähköjakeluverkko koostuu alueverkosta (110 kV ja 45 kV), sähköasemista (110/20 kV, 45/20 kV), keskijänniteverkosta (20 kV), jakelumuuntamoista (20/0,4 kV) ja pienjänniteverkoista (0,4 kV ja 1 kV). Alla olevassa taulukossa 2.1 on havainnollistettu sähköjakelujärjestelmän tyypillisimmät verkon osat, jännitetasot sekä tyypit. Sähköjakelujärjestelmän tehtävänä on siirtää sähkövoimansiirtojärjestelmän kautta tuleva tai suoraan jakeluverkkoon liitettyjen voimalaitosten tuottama sähkö loppukäyttäjille eli asiakkaille. (Lakervi & Partanen 2008)

**Taulukko 2.1.** Sähköjakelujärjestelmän pääosat Suomessa (Karppanen 2012).

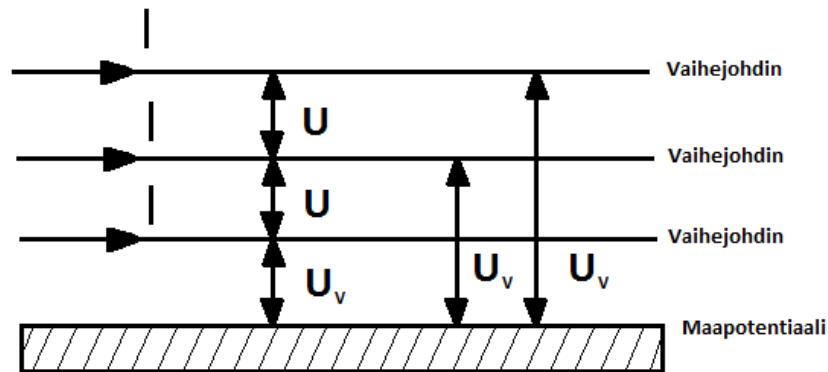
Verkon osa	Jännitetaso	Tyyppi
Alueverkko	110 kV, 45 kV	Ilmajohto
Sähköasemat	110/20 kV, (45/20 kV)	Kenttä/Kevyt 110/20 kV
Keskijänniteverkko	20 kV, 10 kV	Ilmajohto/maa-/vesistökaapeli
Jakelumuuntamot	20/0,4 kV, 10/0,4 kV (20/1 kV, 1/0,4 kV)	Pylväs-/puisto-/kiinteistömuuntamo
Pienjänniteverkko	0,4 kV, (1 kV)	Avo-/riippujohto, maa-/vesistökaapeli

Jakelujärjestelmä koostuu useista yksittäisistä komponenteista ja erityyppisistä johdoista tai kaapeleista. Suomessa jakelujärjestelmässä on noin 850 sähköasemaa ja noin 130 000 jakelumuuntamo (Löf 2009; STUK 2014). Keskijänniteverkon kokonaispituus on noin 139 000 kilometriä ja pienjänniteverkon kokonaispituus on noin 239 000 kilometriä (Energiateollisuus 2014a).

Jakelujärjestelmän primäärikomponenttien eli peruskomponenttien (sähköasemat, jakelumuuntamot ja johdot) lisäksi siihen kuuluu paljon sekundäärilaitteita ja -järjestelmiä. Näitä ovat suojareleet ja apujännitejärjestelmät, käyttökeskuksissa käytössä olevat käytönvalvonta- ja käytöntukijärjestelmät, tiedonsiirto- ja radiopuhelinjärjestelmät sekä muut tietojärjestelmät. (Lakervi & Partanen 2008)

Suomessa pienjänniteverkoissa käytetään jännitteenä tyypillisesti 400 V. Tavalliset sähkönkäyttäjät saavat kotitalouksiinsa 230 V jännitteen, joka on pienjänniteverkon vaihejännite. Vaihejännite  $U_v$  on vaiheen ja maan välinen jännite. Pääjännite  $U$  (400 V)

on puolestaan kahden vaiheen välinen jännite (ks. kuva 2.1 alla). Vaihejännite saadaan pääjännitteestä kaavalla 2.1.



*Kuva 2.1. Kolmivaihejärjestelmä.*

$$U_v = \frac{U}{\sqrt{3}} \quad (2.1)$$

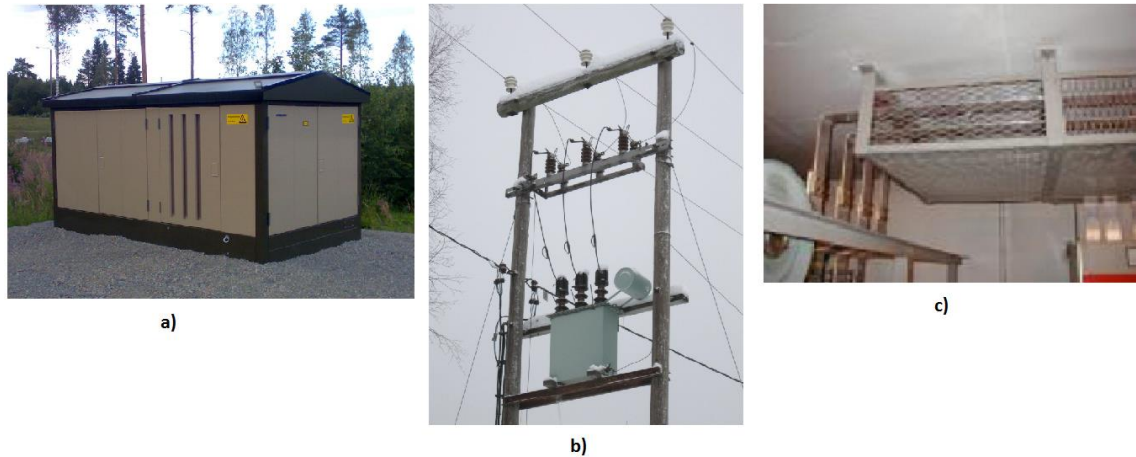
Tyypillisesti pienjänniteverkkoja käytetään säteittäisinä. Tämä tarkoittaa sitä, että verkoissa on tavallisesti vain yksi syöttöpiste. Pienjänniteverkossa tämä syöttöpiste on yleensä 20/0,4 kV:n jakelumuuntamo. (Lakervi & Partanen 2008) Säteittäisellä verkstorakenteella on sekä hyviä että huonoja puolia. Hyviä puolia ovat muun muassa verkon selkeä rakenne, yksinkertainen käytettävyys, suojaamisen helppous sekä verkon mitoittamisen yksinkertaisuus. Huonoja puolia ovat puolestaan varasyöttöyhteyksien puute sekä verkon huollon ja korjauksen aiheuttamat pitkät sähkökatkot loppukäyttäjille. (Rissanen 2010)

Jakelumuuntamot muuntavat jännitteen joko yleisempään 0,4 kV:iin tai 1 kV:iin. Jakeluverkon rakenne jakautuu Suomessa haja-asutusalueen ja taajaman pienjänniteverkoiksi. Myös johdintyypit vaihtelevat käyttökohteiden ja -alueiden mukaan. (Lakervi & Partanen 2008) Seuraavissa alaluvuissa perehdytään tarkemmin ja yksityiskohtaisemmin muun muassa edellä mainittuihin pienjänniteverkon rakenteisiin.

## 2.1 Muuntamot

Pienjänniteverkkoa syöttävällä jakelumuuntamolla muunnetaan suurempi jännite matalammalle tasolle, Suomessa tyypillisimmin 400 V:iin. Jakelumuuntamo koostuu useista komponenteista, joita ovat keskijännitekiskosto, vähintään yksi jakelumuuntaja, pienjännitelähdöt ja mahdolliset apujännitejärjestelmät. (Lakervi & Partanen 2008)

Suomessa taajamissa ja haja-asutusalueilla käytetään erityyppisiä jakelumuuntamoita. Kuvassa 2 alla on esitetty yleisimmät muuntamotyypit. Taajamissa käytetään tavallisesti puistomuuntamoita (kuva 2.2 a), sillä pienjänniteverkkojen tehontarpeet ovat huomattavasti suurempia taajamissa. Tällöin tarvitaan suurempia ja kalliimpia muuntamorakennuksia kuin haja-asutusalueen perinteiset pylväsmuuntamot (kuva 2.2 b). Tiheään asutulla kaupunkialueella tilanpuutteen vuoksi muuntamoita rakennetaan myös esimerkiksi kerrostalojen kellareihin. Näitä sanotaan kiinteistömuuntamoiksi (kuva 2.2 c) (STUK 2014).



**Kuva 2.2. a) puistomuuntamo, b) pylväsmuuntamo ja c) kiinteistömuuntamo (STUK 2014).**

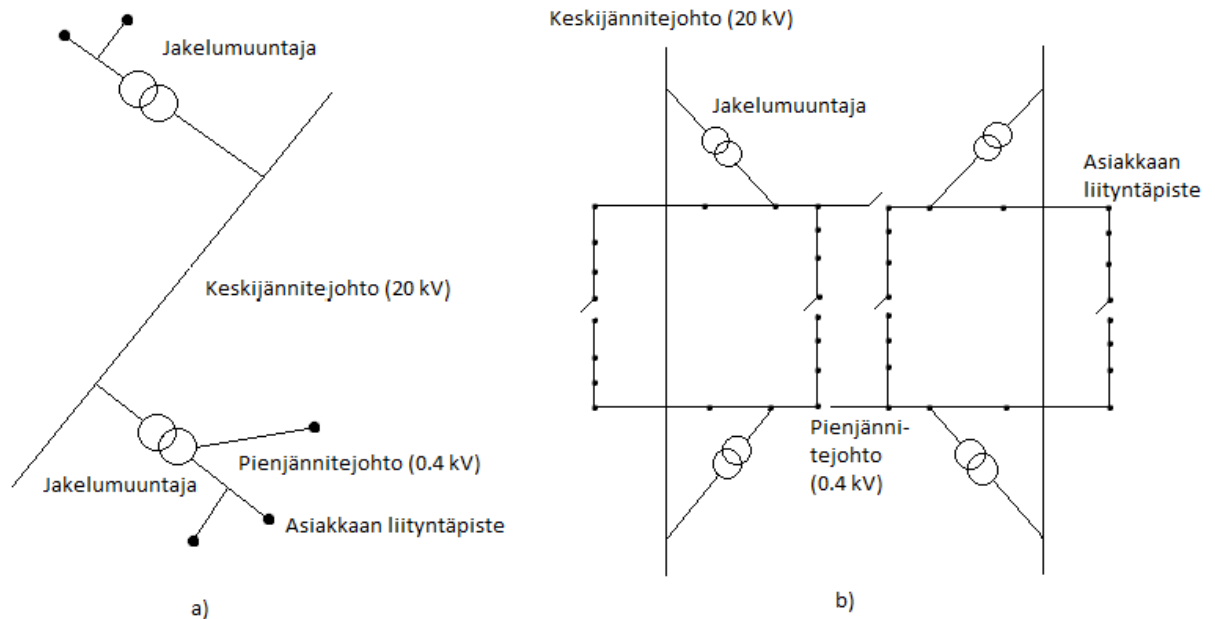
## 2.2 Pienjänniteverkko haja-asutusalueella ja taajamassa

Suomessa pienjänniteverkko on yleisesti rakennettu kolmivaiheisena nelijohtimisena järjestelmänä. Neljäs johdin on nollajohdin, joka toimii virran paluujohtimena. Suomessa pienjänniteverkkojen rakenteet eroavat toisistaan haja-asutusalueilla ja taajamissa. Tämä johtuu pääosin näiden kahden alueen erilaisista kuormitusiheyksistä ja asiakasmääristä muuntopiireillä.

Haja-asutusalueella usein käytetty pienjänniteverkko on esitetty seuraavalla sivulla olevassa kuvassa 2.3 a). Verkko on rakennettu säteittäiseksi, sillä sähkönkäyttäjää yhdellä muuntopiirillä on melko vähän. Asiakkaiden etäisyydet toisistaan haja-asutusalueilla voivat olla pitkiä, joten on myös taloudellista rakentaa verkko säteittäiseksi. (Lakervi & Partanen 2008)

Taajama-alueilla käytettyä pienjänniteverkkorakennetta on havainnollistettu kuvassa 2.3 b). Kuten kuvasta nähdään, asiakkaita yhdellä muuntopiirillä voi olla moninkertainen määrä verrattuna haja-asutusalueeseen. Taajamissa muuntopiirit ovat hyvin lähellä toisiaan, jolloin eri muuntamoiden syöttämät pienjänniteverkot usein rakennetaan yhteen jakorajoin. Tällöin verkkoja käytetään normaalitilanteissa säteittäisesti. Sähkönkäyttäjien suuren määrän ja lyhyiden etäisyyksien vuoksi on myös taloudellista rakentaa

säteittäisten haarojen väliin yhdysjohtoja, joiden ansioista häiriötilanteissa voidaan ottaa käyttöön varasyöttö toisesta muuntopiiristä. (Lakervi & Partanen 2008)

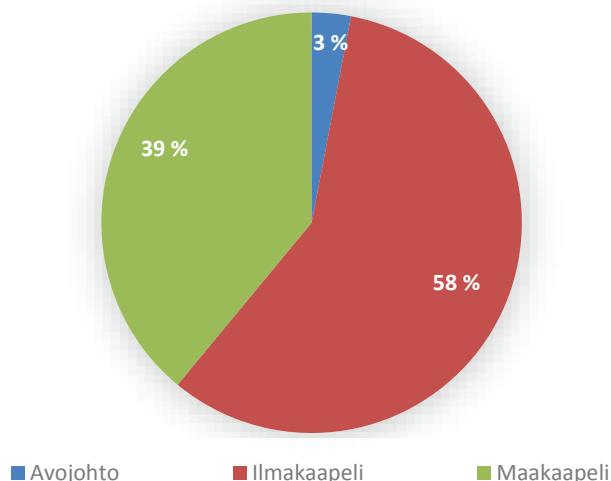


**Kuva 2.3.** Tyypillinen pienjänniteverkon rakenne a) haja-asutusalueella b) taajamassa (Lakervi & Holmes 1995).

Huolimatta taajama-alueiden rengasmaisen pienjänniteverkon rakenteesta, verkkoa käytetään haja-asutusalueiden tavoin säteittäisesti. Tällöin saavutetaan aiemmin luvussa 2 mainitut säteittäisen verkon hyvät ominaisuudet, jos verkko toimii normaalisti. Vika- tai huoltotilanteissa voidaan ottaa käyttöön varasyöttö sähkökäyttäjille toisesta muuntopiiristä. Laittamalla muuntopiirit toisistaan erottavan jakorajan varokkeen sulakkeet paikalleen saadaan toteutettua varasyöttö. Jakorajat voivat sijaita joko muuntamoiden pääkeskuksilla tai muuntopiirit yhdistävillä jakokaapeilla, joilla varokkeen sulakkeet on irrotettu. (Löf 2009)

### 2.3 Johdintyypit

Suomessa yleisimmät pienjänniteverkon johdintyypit ovat seuraavalla sivulla olevan kuvan 2.4 mukaisesti avojohto, ilma- ja maakaapeli. Avojohtojen osuus kaikesta pienjänniteverkosta on vain kolme prosenttia. Maakaapeleiden osuus on 39 prosenttia ja ilma-kaapeleiden 58 prosenttia. Energiategiäselvityksen tekemisen selvityksen mukaan kaapelointiasteen odotetaan nousevan lähitulevaisuudessa merkittävästi. (Energiategiäselvitys 2014a) Tällä tarkoitetaan sitä, että ikääntyviä ilmajohtoja aletaan korvata maakaapeilla.



**Kuva 2.4.** Pienjänniteverkon eri johdinlajien prosentuaaliset osuudet Suomessa vuodelta 2014 (Energiateollisuus 2014a).

Harvaan asutuilla haja-asutusalueilla pienjänniteverkko on tyypillisesti ilmajohtoverkkoa. Paljaslankaisia avojohtoja käytettiin sähköistämisen alkuaikoina paljon sekä keskijännite- että pienjänniteverkossa. Nykyään avojohtoja on alettu korvata eristepäälystetyillä AMKA-riippukierrekaapeleilla. Avojohtoihin verrattuna riippukierrekaapelit ovat käyttövarmempia, sillä niiden eristepinta estää paljaita johtoja paremmin esimerkiksi puunoksien aiheuttamia vikoja. (TUKES 2014)

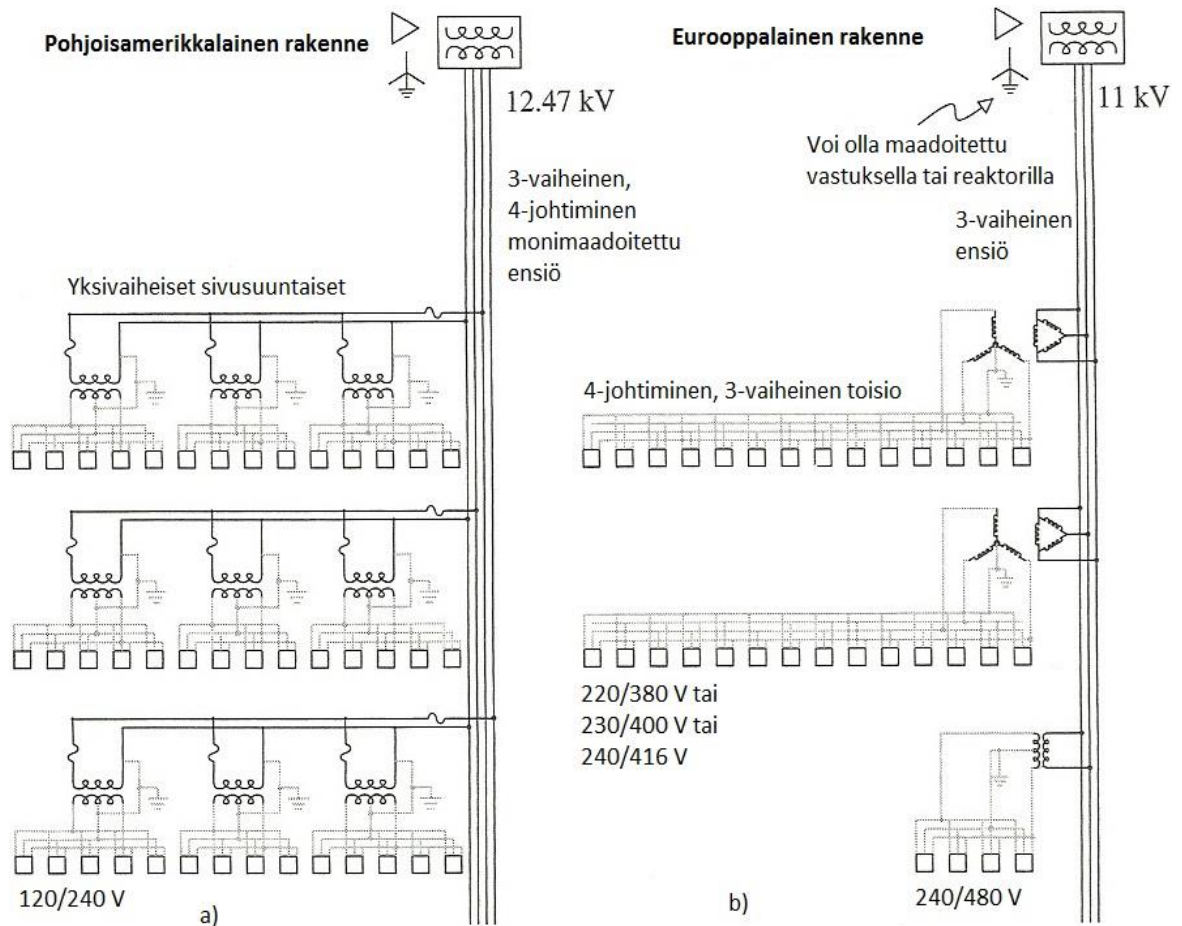
Tiheään asutuilla taajamilla puolestaan, lähes poikkeuksetta, pienjänniteverkko rakennetaan maakaapeleina. Tähän ovat syynä sekä tilanpuute ilmajohtoille että käyttövarmuuden parantaminen suurelle määrälle sähkönkäyttäjiä. Myös taajama-alueiden ulkonäkösyistä ilmajohtoja ei käytetä. (Lakervi & Partanen 2008)

Nykyään suositaan erityisesti säävarmoja sähköverkkoja. Sillä pyritään parantamaan sähkönjakelun toimintavarmuutta. Yhtenä parannuskeinona esimerkiksi Elenia Oy sähköverkkoyhtiössä pitkän aikavälin ratkaisuna on pienjänniteverkon maakaapelointi. Tämä tarkoittaa myös haja-asutusalueiden tyypillisen AMKA-riippukierrekaapelin korvaamista maakaapeleilla aina kun on mahdollista. Myös uutta pienjänniteverkkoa uusille asiakkaille rakennetaan säävarmoiksi kaapeloimalla. (Elenia 2014)

## 2.4 Eurooppalainen ja pohjoisamerikkalainen jakelujärjestelmä

Eurooppalainen ja pohjoisamerikkalainen pienjänniteverkko eroavat toisistaan jännitetasoiltaan ja taajuuksiltaan. Eurooppalaisten kolmivaiheisten pienjänniteverkkojen standardoidut jännitetasot ovat: 220/380 V, 230/400 V ja 240/416 V (Löf 2009). Suomessa käytetään 230/400 V jännitetasoa. Taajuus Euroopassa on 50 Hz. Pohjoisamerikkalaisessa pienjännitejakelujärjestelmässä standardoitu jännitetaso puolestaan on 120/240 V (Short 2004). Taajuus Pohjois-Amerikassa on 60 Hz.

Laitteistoiltaan ja rakenteiltaan eurooppalainen ja pohjoisamerikkalainen sähkönjakelujärjestelmät ovat hyvin samanlaisia. Kummassakin järjestelmässä pienjänniteverkkoa käytetään tyypillisesti säteittäisesti. Näin ei kuitenkaan ole aina ollut, sillä Pohjois-Amerikan ja Euroopan suurkaupungeissa pienjänniteverkkoa käytetään usein silmukoidusti (Kumpulainen et al. 2006). Myös Suomen kaupungeissa tämän kaltaista verkkomuotoa on ollut käytössä, mutta siitä on myöhemmin jo luovuttu (Lakervi & Simola 1993). Kuvasta 2.5 nähdään tyypilliset jakeluverkon rakenteet a) Pohjois-Amerikassa ja b) Euroopassa.



**Kuva 2.5. a) pohjoisamerikkalaisen ja b) eurooppalaisen jakeluverkon rakenne (Short 2004).**

Jännitetasojen ja taajuuden lisäksi jakelujärjestelmät eroavat Euroopassa ja Pohjois-Amerikassa toisistaan. Kuvasta 2.5 voidaan nähdä selvästi, että eurooppalaisessa järjestelmässä muuntajat ovat kolmivaiheisia. Pohjois-Amerikassa pienjänniteverkkoa syötetään puolestaan yksivaiheisella muuntajalla. Näin ollen pienjänniteverkkokin on yksivaiheinen. Euroopassa yhden muuntajan takana on myös paljon enemmän sähkönkäyttäjiä. Kuten kuvasta 2.5 huomataan, pohjoisamerikkalaisessa järjestelmässä pienjännitejohtohaarat eivät ole yhtä pitkiä kuin Euroopassa. Tämä johtuu verkon yksivaiheisuuden lisäksi myös alhaisesta jännitetasosta. Tällöin pitkillä pienjännitejohdoilla tapahtuu helposti jännitteen alenemaa. (Short 2004)



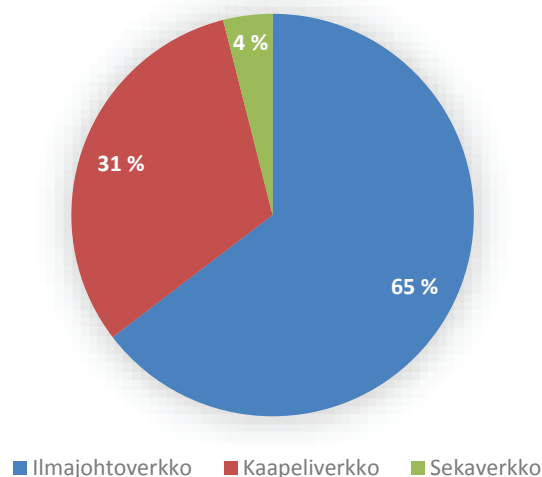
### 3 VIAT PIENJÄNNITEVERKOSSA

Pienjänniteverkossa olevat viat aiheuttavat sähköjakelun keskeytyksien lisäksi ihmisille ja eläimille hengenvaarallisia kosketus- ja askeljännitteitä sekä palovaaratilanteita. Myös esimerkiksi nollaviat voivat aiheuttaa sähkölaitteiden rikkoontumisia. Keskijänniteverkko aiheuttaa suurimman osan sähköjakelun häiriöitä asiakkaille. Lukumääräisesti vikoja tapahtuu kuitenkin enemmän pienjänniteverkoissa. Siellä tapahtuvat viat aiheuttavat silti vain pienelle osalle sähkönkäyttäjistä keskeytyksiä. Asiakasmäärät keskijännitelähdöllä ovat useita satoja, kun pienjännitemuuntopiirissä asiakasmäärät jäävät tyypillisesti kymmeniin (Lakervi & Partanen 2008). Korkeammilla jännitteillä myös vikojen kestot ovat pienijännitevikoja lyhempiä. (Bloemhof et al. 2001)

**Taulukko 3.1.** Koillis-Satakunnan Sähkö Oy:n pienjänniteverkon keskimääräiset vikataajuudet vuodelta 2008 (Löf 2009).

Verkkotyyppi	Vikaa/100 km, a
Avojohto	20,4
AMKA	4,5
Maakaapeli	3,6
Maakaapeli ilman kaivuvikoja	2,2

Alla olevassa kuvassa 3.1 on esitetty esimerkkinä Loiste Sähköverkko Oy:n pienjänniteverkossa tapahtuneista vioista ja niiden sijoittumisesta ilmajohto-, kaapeli- ja sekaverkkoon. Kuten kuvasta ja yllä olevasta taulukosta 3.1 huomataan, vikoja sattuu merkittävästi enemmän ilmajohtoverkoissa.



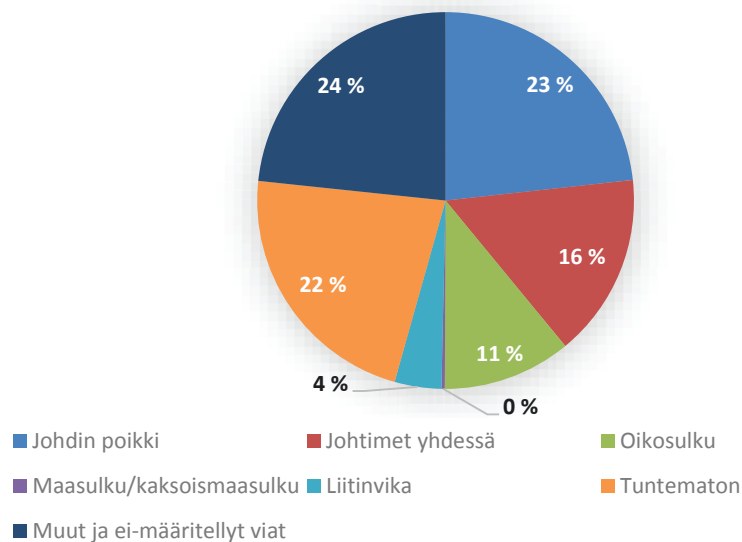
**Kuva 3.1.** Loiste Sähköverkko Oy:n pienjänniteverkossa tapahtuneet viat eri verkkotyypeissä ajalta 2005 – 2014 (PJ-viat 2014).

Tässä luvussa tarkastellaan seuraavaksi tyypillisimpiä pienjänniteverkossa ilmeneviä vikatyyppejä ja niiden aiheuttajia. Ilmajohdoilla ja maakaapeleilla viat ja niiden aiheuttajat eroavat toisistaan. Tämän vuoksi tarkastelut käydään erikseen kummassakin verkkotyyppissä.

### 3.1 Ilmajohdot

Ilmajohdot ovat maakaapeleita alttiimpia erilaisille vioille. Varsinkin luonnonvoimat, kuten myrsky ja lumi, aiheuttavat pienjänniteverkkoon vikoja, jotka pystyttäisiin estämään käyttämällä maakaapeleita ilmajohtojen sijaan. Yksi yleisimmistä vian aiheuttajista ovat johdon päälle kaatuneet puut. Kuvassa 3.2 on esimerkkitapauksen mukaan havainnollistettu pienjännitteisessä ilmajohtoverkossa tapahtuvista vioista. Kuvasta nähdään myös, miten yleisiä eri vikatyypit ovat kyseisellä verkkotyyppillä. Tästä voidaan siis sanoa, että kaikkein yleisin määritelty ja tunnettu vikatyyppejä ilmajohtoverkoissa on johtimien katkeaminen. Tunnetuista ja määritellyistä vioista toiseksi yleisin on yhdessä olevat johtimet. Tuntemattomien vikojen tapauksissa todellista aiheuttajaa ei voida täysin luotettavasti määritellä. Tämän vuoksi ne on luokiteltu omaksi ryhmäksi.

#### Ilmajohdoverkon tyypillisimmät viat



**Kuva 3.2.** Tyypillisimmät viat ja niiden prosentuaaliset osuudet pienjännitteisessä ilmajohtoverkossa. Esimerkki Loiste Sähköverkon pienjänniteverkossa tapahtuneista vioista vuosien 2005 – 2014 aikana. (PJ-viat 2014)

Poikki menevät ja yhteen osuvat johdot aiheuttavat enimmäkseen vaihe- ja nollavikoja sekä sulakepaloja. Näihin vikoihin perehdytään lähemmin seuraavissa alaluvuissa.

### 3.1.1 Vaihevika

Vaiheviolla tarkoitetaan yhden tai useamman vaiheen puuttumista, ja ne aiheuttavat yleensä sulakepaloja. Käytännössä kaikki sulakepaloista aiheutuneet vaiheviat, joiden seurauksena yksi tai useampi vaihe on jännitteetön, johtavat vikakeskeytykseen. Tämän lisäksi sulakkeiden vaihto aiheuttaa aina vähintään lyhyen keskeytyksen kaikissa vaiheissa. (Löf 2009)

Pienjänniteverkossa vaihevikoja yleisimmin aiheuttavat poikki menneet johtimet, joiden seurauksena yksi tai useampi vaihe on mennyt poikki. Yhdessä olevat sähköjohtimet aiheuttavat oikosulkuja, jotka niin ikään aiheuttavat yksi- tai useampivaiheisia vikoja. Myös maasulut ja liitinviat saavat aikaan vaihevikoja. (PJ-viat 2014)

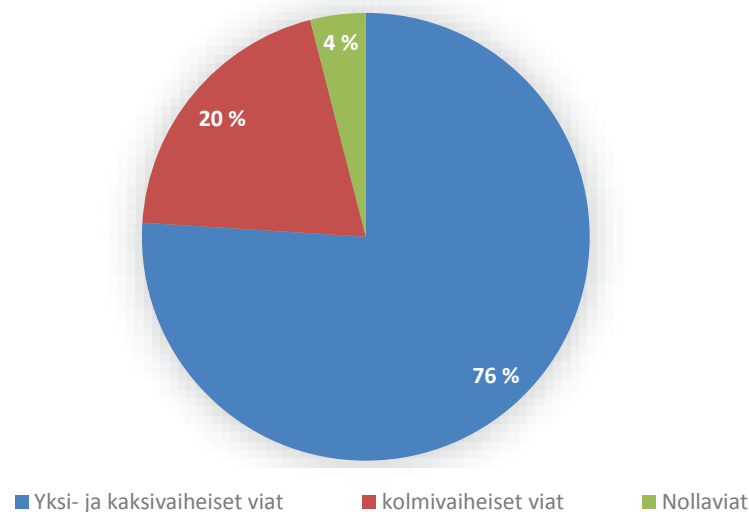
Tyypilliset aiheuttajat johtimen poikkimenemiselle ovat sääolosuhteet, kuten kova tuuli, myrsky, raskas lumi, jää ja ukkonen. Muita aiheuttajia ovat eläimet ja linnut sekä rakenneviat. Myös verkonhaltijan toiminta voi olla syyllinen tämän tyyppisiin vikoihin. Esimerkiksi asennus- ja hoitotöiden aikana johtimet voivat olla hetkellisesti irti verkosta. (PJ-viat 2014)

Jännitteellisen johtimen katkeaminen ja tippuminen maahan aiheuttaa suuri-impedanssisen vian. Tilanne on hyvin huolestuttava ja vaarallinen, sillä se voi aiheuttaa hengenvaaraa sekä ihmisille että eläimille. Maahan tippunut jännitteellinen johdin voi aiheuttaa myös palovaaratilanteita. (Garcia-Santander et al. 2005)

### 3.1.2 Nollavika

Pienjänniteverkoissa hyvin vakavia vikoja ovat nollaviat. Vaihevikojen tavoin myös nollavian sattuessa asiakas kokee sähköjakelun keskeytyksen. Jos nollavika tunnistetaan asiakasyhteydenotossa, asiakasta ohjeistetaan kytkemään pääkytkin nollille (Niskanen 2015). Tämä tehdään sen vuoksi, koska nollaviat voivat aiheuttaa sähkölaitteiden rikkoontumisia ja hengenvaaraa. Kun nollajohdin katkeaa, paluuvirran täytyy etsiä toinen reitti. Tällöin sähkölaitteet voivat altistua ali- tai ylijännitteille, jotka voivat rikkoa laitteet. Nollavika aiheuttaa hengenvaaraa, sillä sähkölaitteiden metalliset kuoret voivat muuttua jännitteellisiksi. (Löf 2009)

Nollavikoja aiheuttavat pienjänniteverkoissa esimerkiksi poikki menneet johdot, liitinviat ja oikosulut. Nollavikoja esiintyy myös, jos asentajalla on jäänyt nollajohdin kytkemättä tai liitos kiristämättä. (PJ-viat 2014)



**Kuva 3.3.** Yksi- ja kaksivaiheisten vikojen, kolmivaiheisten vikojen ja nollavikojen prosentuaalinen osuus Vattenfall Verkko Oy:n pienjänniteverkon vioista 2009 (Löf 2009).

Useimmiten pienjänniteverkon viat ovat vaihevikoja. Kuvassa 3.3 yllä on esitetty diagrammina Vattenfall Verkko Oy:n pienjänniteverkossa tapahtuvien yksi- ja kaksivaiheisten vikojen, kolmivaiheisten vikojen ja nollavikojen prosentuaaliset osuudet kaikista pienjänniteverkon vioista. (Löf 2009) Tästä voidaan huomata, että suurin osa pienjänniteverkon vioista ovat yksi- ja kaksivaiheisia (n. 76 %). Nollavikoja puolestaan on vähiten (n. 4 %).

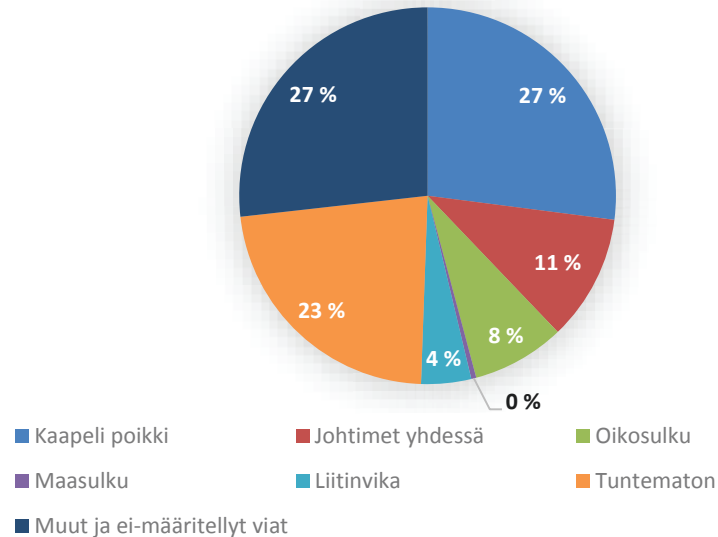
## 3.2 Maakaapelit

Kuten aiemmissa luvuissa huomattiin, luonnonilmiöt, kuten kova tuuli ja myrsky, aiheuttavat ilmajohtoihin vikoja eniten. Maakaapeleilla pystytään suojautumaan hyvin vioilta, jotka aiheutuvat luonnonvoimista. Maakaapeleilta ei kuitenkaan pystytä suojautumaan vioilta täysin. Kuten taulukosta 3.1 (ks. sivu 10) nähdään, että maakaapeliverkon vikataajuus ei ole erityisen paljon pienempi kuin AMKA-riippukierrekaapeliverkossa. Taulukosta nähdään myös, että kaivuviat vaikuttavat maakaapeleiden vikataajuuteen. Maankaivusta aiheutuvat viat ovatkin maakaapeliverkossa yksi yleisin syy. Muut tyypilliset vianaiheuttajat ovat irronneet kaapelipäätteet ja -jatkokset (Löf 2009).

Seuraavalla sivulla olevassa kuvassa 3.4 on esitetty tyypillisimmät viat esimerkkitapauksessa Loiste Sähköverkon pienjännitteisessä kaapeliverkossa tapahtuneista vioista ajalta 2005 – 2014. Kuvasta nähdään myös vikojen prosentuaaliset osuudet. Tästä voidaan huomata, että kaapeleiden katkeaminen on yleisin vikatyyppe. Seuraavaksi yleisimmät ovat muut ja ei-määritellyt sekä tuntemattomat viat. Tunnetuista

ja määritellyistä vikatyypeistä seuraavaksi yleisimmät ovat yhdessä olevat johtimet ja oikosulut.

### Kaapeliverkon tyypillisimmät viat



**Kuva 3.4.** Tyypillisimmät viat ja niiden prosentuaaliset osuudet pienjännitteisessä kaapeliverkossa. Esimerkki Loiste Sähköverkon pienjänniteverkossa tapahtuneista vioista vuosien 2005 – 2014 aikana. (PJ-viat 2014)

Kaapelioimalla pienjänniteverkkoa pyritään saavuttamaan jo aiemmin luvussa 2.3 mainittu säävarma sähkönjakeluverkko. Ilmajohtoverkossa tapahtuu helposti suurhäiriöitä, jolloin sattuu useita vikoja samaan aikaan, esimerkiksi kaatuneiden puiden vuoksi. Tällöin vikojen selvittäminen voi kestää useita päiviä. Säävarmassa verkossa esiintyy yhtäaikaista vikoja huomattavasti vähemmän. (Partanen 2013)

Ilmajohtojen tavoin maakaapeleissa tapahtuu nolla- ja vaihevikoja sekä sulakepaloja. Vikojen aiheuttajat eroavat merkittävästi riippuen verkkotyypistä. Kun ilmajohtoilla merkittävä vikojen aiheuttaja on puiden kaatuminen johdoille, maakaapeleilla vikoja aiheuttaa enimmäkseen maan kaivu. (PJ-viat 2014)

Monet maakaapeliviat pienjänniteverkossa vaihtelevat ohimenevistä vioista pysyviin vikoihin. Maakaapeliverkon viat ovat usein luonteeltaan epästabiileja tai epälineaarisia. Tämän vuoksi niitä voidaan paikantaa vain kaapelin ollessa jännitteellinen. Pysyvien vikojen sijainti voidaan kuitenkin määrittää tavanomaisin tekniikoin kaapelin ollessa jännitteetön. (SebaKMT 2014)

Vikojen määrittäminen on sähköyhtiöille vaikeaa, sillä vikojen aiheuttajia on paljon erilaisia. Suurimassa osassa tapahtuneista vioista ainoa todiste on sulakkeiden laukeaminen. Tästä ei voida erottaa, aiheuttiko sulakkeen palamisen kaapelissa esiintyvä vika vai suuri kuormavirta. (Horton & van Luijk 2006)

Pienjännitteiset viat ovat yleistyneet kaapeleiden korroosion ja ikääntymisen myötä. Kaapeleihin vaikuttaa sekä sisäisiä että ulkoisia vaikutuksia ja voimia, jotka voivat lopulta johtaa siihen, että kaapeleiden suojaava eriste alkaa tuhoutua. Tällöin kosteus pääsee eristeen sisälle ja aiheuttaa dielektrisiä muutoksia kaapelin sisällä. Tämä aiheuttaa paljon vikoja pienjänniteverkossa. (Horton & van Luijk 2006)

Maakaapeliviat jaetaan tyypillisesti neljään luokkaan: ohimeneviin, ajoittaisiin, jatkuviin ja pysyviin vikoihin. Vikatyypit ja niiden ominaisuudet on esitetty alla olevassa taulukossa 3.2, josta voidaan nähdä myös vikatyypin stabiiliuden ja lineaarisuuden.

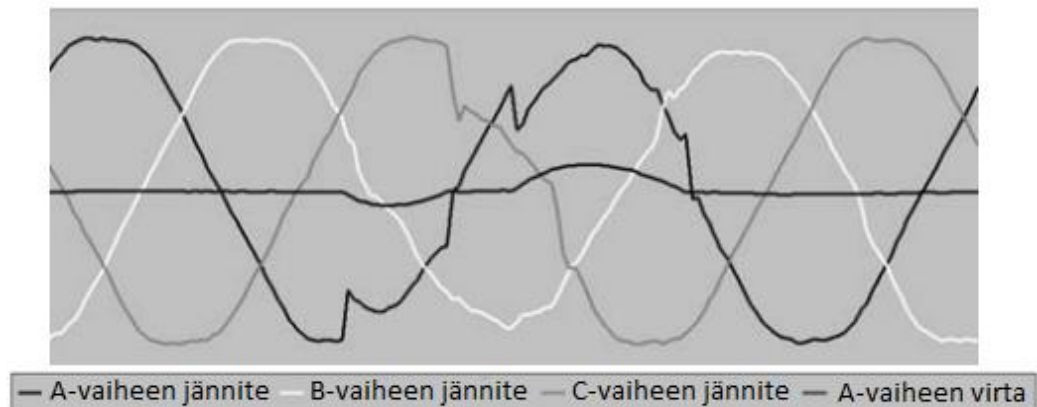
**Taulukko 3.2.** Pienjännitekaapeleiden vianluokittelu (SebaKMT 2014; Livie et al. 2008).

Tila	Vian luokittelu	Ominaisuudet
Epästabiili/Epälineaarinen	Ohimenevä	Epäsäännöllisiä, lyhytkestoisia jännitekuoppia ilman sulakkeen laukeamista
Epästabiili/Epälineaarinen	Ajoittainen	Epäsäännöllisiä sulakkeiden laukeamisia harvemmin
Epästabiili/Epälineaarinen	Jatkuva	Toistuvia sulakkeiden laukeamisia tiheämmin
Stabiili/Lineaarinen	Pysyvä	Keskeytyksiä ja vakavia oikosulkuja

Pienjännitteisissä maakaapeliverkoissa tapahtuvat viat usein kehittyvät ohimenevästä ajoittaiseen. Lopulta vian tyyppi on kehittynyt jatkuvaksi ja pahimmassa tapauksessa se muuttuu pysyväksi. (Livie et al. 2008) Pysyvien vikojen aikana virransyöttö keskeytyy, kunnes vika on paikannettu (Siew et al. 2007). Seuraavissa alaluvuissa syvennyttään näiden maakaapeleiden päävikatyypien ominaisuuksiin ja syntytapoihin.

### 3.2.1 Ohimenevät viat

Ohimenevät viat maakaapeleissa ovat epäsäännöllisiä, jotka aiheuttavat lyhytkestoisia jännitekuoppia ilman, että sulakkeet laukeavat. Välkkyvät valot ovat mahdollinen merkki ohimenevästä viasta tai häiriöstä. (SebaKMT 2014) Kuten taulukosta 3.2 nähdään, ohimenevät viat ovat luonteeltaan epästabiileja, joten ohimenevien vikojen paikka voidaan määrittää usein ilman, että asiakkaat kokevat suunniteltua tai suunnittelematonta sähkönjakelun keskeytystä. (Livie et al. 2008)



**Kuva 3.5.** Ohimenevä vika (Livie et al. 2007).

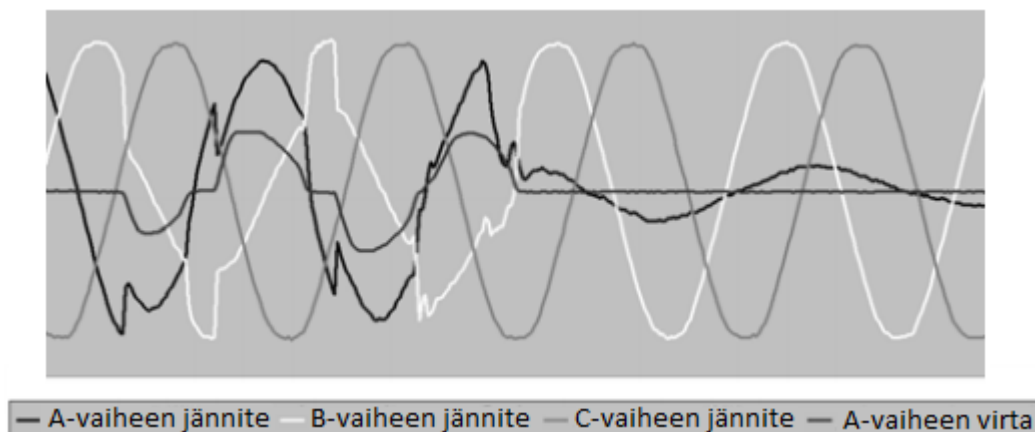
Yllä olevassa kuvassa 3.5 on esitetty sähköasemalta mitattu jännitehäiriö, joka on ohimenevän vian aiheuttama. Kuten kuvasta nähdään, jännitetasot palautuvat normaaleiksi häiriön jälkeen. Ohimenevät viat ovat kuitenkin usein esiasteita kehittyville ajoittaisille vioille maakaapeleissa. (Livie et al. 2007)

### 3.2.2 Ajoittaiset viat

Ajoittaiset viat aiheuttavat epäsäännöllisesti jaksoittaisia sulakepaloja, mutta harvemmin kuin jatkuvissa vioissa. Ajoittaiset viat ovat luonteeltaan niin ikään epästabiileja ja epälineaarisia. (SebaKMT 2014)

Ajoittaiset viat voivat esiintyä maakaapeleissa, joissa esimerkiksi lämpö rikkoo kaapelin eristyksen hetkellisesti, mutta toipuu tämän jälkeen riittävästi kestämään normaalia sähkönsyöttöä jonkin aikaa. Hetken päästä vika kuitenkin tapahtuu uudelleen, kunnes vika saadaan paikannettua ja korjattua. (Walton 2001)

Ajoittaiset viat aiheuttavat ajoittaisia sulakepaloja. Vian tapahduttua sulake vaihdetaan ja sähkönsyöttö palautuu ennalleen. Tästä aiheutuu sähkön kuluttajille siis lyhytkestoisia katkoksia sähkön jakelussa. Ajoittainen vika aiheuttaa aika ajoin sulakepaloja ja se lopulta johtaa siihen, että ohimenevä vika muuttuu tyypiltään jatkuvaksi ja lopulta pysyväksi. (Eastwood et al. 2008)



**Kuva 3.6.** Ajoittainen vika (Livie et al. 2007).

Yllä olevassa kuvassa 3.6 on esitetty jännitehäiriöitä, jotka on mitattu sähköasemalta. Jännitehäiriöt on mitattu samasta kaapelista kuin kuvan 3.5 muutama päivä sen jälkeen, kun ajoittainen vika on rikkonut A-vaiheen sulakkeen. Kuvissa 3.5 ja 3.6 huomataan vikavirran ei-sinimuotoisuus ja epälineaarisuus A-vaiheessa. (Livie et al. 2007)

### 3.2.3 Jatkuvat viat

Jatkuvat viat aiheuttavat pienjänniteverkossa toistuvia sulakkeiden laukeamisia melko tiheästi. Sulakepalot ovat myös säännöllisiä. (SebaKMT 2014)

Eräs jatkuvan vian syntytyapa on esimerkiksi vanhojen, vaurioituneiden maakaapeleiden sisään päässyt kosteus. Kosteus pääsee kosketuksiin kaapeleiden johtimiin, kun eristekerros on päässyt vaurioitumaan. Vian aikana tapahtuva matalajännitteinen valokaari vapauttaa suurimman osan kosteudesta. Tällöin sulakkeen vaihtaminen palauttaa sähkönjakelun normaaliksi, mutta vain vähäksi aikaa. Sama vika kuitenkin tapahtuu pian uudelleen ja viasta tulee jatkuva. (Horton & van Luijk 2006)

### 3.2.4 Pysyvät viat

Pysyvät viat aiheuttavat sähkönjakelun keskeytyksiä tai vakavia oikosulkuja. Pysyvät viat ovat luonteeltaan stabiileja tai lineaarisia. Vain pysyvien vikojen tapauksissa niiden paikantaminen onnistuu jännitteettömästi. (SebaKMT 2014)

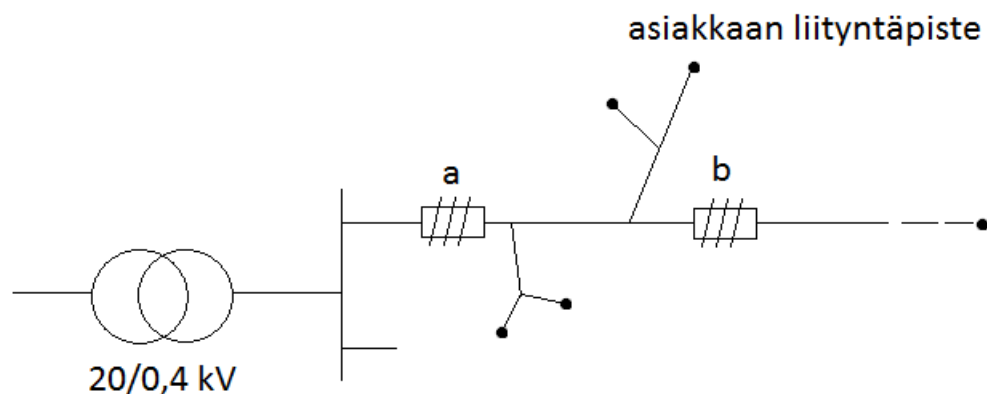
Kuten aiemminkin on mainittu, pienjänniteverkossa maakaapeleissa viat kehittyvät ohimenevistä pysyviin. Kun on kyse pysyvästä viasta kaapelissa, pelkkä sulakkeen vaihto ei ole ratkaisu ongelmaan, vaan vika on aina korjattava.



## 4 PIENJÄNNITEVERKON SUOJAUS

Pienjänniteverkon ja -laitteiden suojaus on erittäin tärkeää, jotta voidaan ehkäistä sähkötapaturmia. Pienjänniteverkossa käytettävä vaihejännite (230 V) on kosketusjännitteenä hyvin vaarallinen. Nämä kosketusjännitteet aiheuttavat eniten hengenvaaraa ihmisille ja eläimille. Tehokkaalla suojauksella pyritään ehkäisemään kosketusjännitteistä aiheutuvan hengenvaaran lisäksi verkkokomponenttien rikkoontumisia ja palovaaratilanteita. (Lakervi & Partanen 2008)

Pienjänniteverkko varustetaan vikavirtasuojalaitteilla. Tavallisin suojalaite on sulake. Kuten alla olevasta kuvasta 4.1 nähdään, sulake (a) sijoitetaan jakelumuuntamolle jokaisen lähdön kaikkiin vaihejohtimiin. Sulakkeet mitoitetaan kestäämään kuormitusvirtaa. Sen täytyy toimia myös nopeasti verkon loppupäässä tapahtuvan yksivaiheisen oikosulun aikana. Tällöin vikavirta on pienimmillään. Jos näitä vaatimuksia ei voida täyttää, täytyy johdoille esimerkiksi asettaa välisulakkeita (b). Nämä välisulakkeet mitoitetaan nimellisvirralta pienemmiksi kuin sulakkeet (a). (Lakervi & Partanen 2008)



**Kuva 4.1.** Tyypillinen pienjännitejohdon suojausjärjestelmä (Lakervi & Partanen 2008).

Toimiva pienjänniteverkon vikasuojaus edellyttää riittävää sulakesuojauksia ja maadoitusta. Syötön nopea poiskytkentä on tapahduttava viidessä sekunnissa tai verkkoyhtiön harkinnan mukaan korkeintaan 15 sekunnissa. Lisäksi nollajohtimen jännite ei saa nousta yli 75 V:n missään verkonosassa (Karppanen 2012).

Yleisiä suojaukselta vaadittavia ominaisuuksia ovat

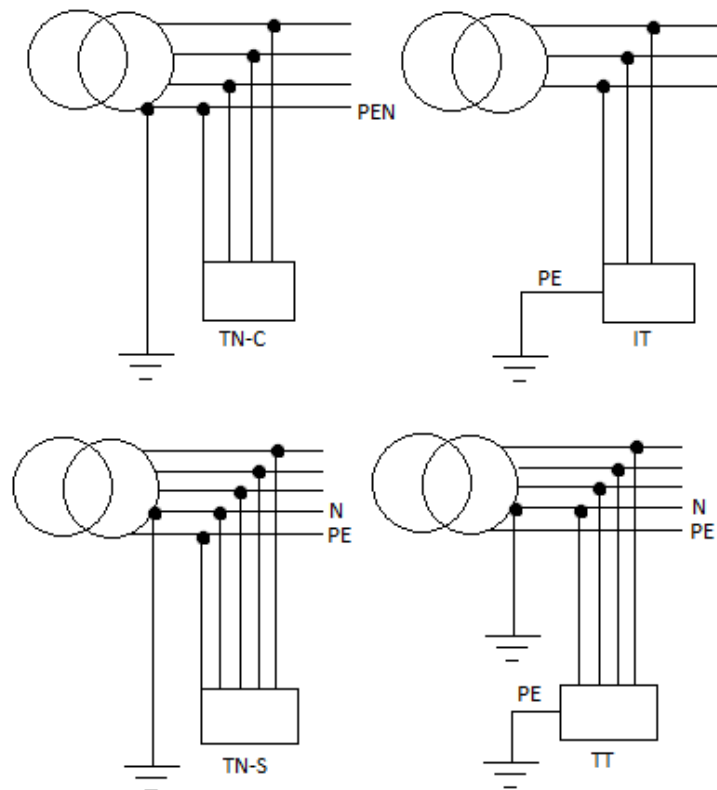
- luotettavuus
- nopeus
- aukottomuus
- selektiivisyys
- koestettavuus
- edullisuus. (Karppanen 2012)

Suojauksen tulee siis olla yksinkertainen ja varmatoiminen. Suojauslaitteen tulee olla myös riittävän nopea ja jokainen piste verkossa tulee kuulua jonkun suojalaitteen alueelle. Jos vikaa lähimpänä oleva suojalaite ei toimi, niin edellisen tulee toimia. Suojalaitteiden toiminta on tarvittaessa pystyttävä varmistamaan. (Karppanen 2012)

Tässä luvassa käsitellään yksityiskohtaisemmin yleisimmät suojaustavat pienjänniteverkoissa. Näitä ovat maadoitukset, ylikuormitussuojaus, oikosulkusuojaus ja ylijännitesuojaus. Luvun lopussa esitetään tyypillisiä esimerkkejä sulakesuojauksesta sekä AMKA- että kaapeliverkossa.

## 4.1 Maadoitukset

Maadoitusten tehtävänä on estää liian suurten kosketusjännitteiden synnyn ja taata riittävän suuri vikavirtataso (Lakervi & Partanen 2008). Pienjänniteverkolle on standardoitu kolme erityyppistä maadoitusjärjestelmää. Näitä ovat TN-, TT- ja IT-järjestelmät. TN-järjestelmä voidaan toteuttaa TN-C-, TN-S- ja TN-C-S-järjestelminä. Maadoitustavan lyhenne kuvaa jakelumuuntajan toisiosion ja jännitteelle alttiiden laitteiden runkojen maadoitustapoja. Alla olevassa kuvassa 4.2 on esitetty standardoidut maadoitusjärjestelmät pienjänniteverkossa. Kuvassa PEN-johdin tarkoittaa yhdistettyä nolla- ja suojajohdinta. PE-johdin tarkoittaa suojamaadoitusjohtoa ja N-johdin on nollajohdin. (Löf 2009; Calvas & Lacroix 2004)



**Kuva 4.2.** Pienjänniteverkon standardoidut maadoitustavat (Calvas & Lacroix 2004) (muokattu).

Pienjänniteverkon maadoitus on Suomessa toteutettu TN-C-järjestelmällä. Järjestelmässä käytetään yhdistettyä nolla- ja suojajohdinta eli PEN-johdinta. Suomessa standardi SFS-6000 antaa ohjeet pienjänniteverkon maadoituksille. Standardin mukaan PEN-johdin täytyy olla maadoitettu syöttöpisteessä tai korkeintaan 200 metrin päässä siitä, kuten kuvassa 4.2 on esitetty. Tämän lisäksi jokainen yli 200 m pitkä johto tai johtohaara tulee maadoittaa loppupäästään tai enintään 200 metrin päässä siitä. AMKA-riippukierrekaapeliverkoissa maadoitusta suositellaan vähintään 500 m:n välein, jotta ylijännitesuojaus toimisi kunnolla. (Lakervi & Partanen 2008)

Maadoituselektrodien maadoitusimpedanssin tulee olla alle 100  $\Omega$ , mikäli maadoitusolosuhteet sallivat. Maadoitus on tehtävä erikseen jokaiselle johtohaaralle, jos olosuhteet ovat heikot. Jos kaikkien liittymien maadoitus on tehty säännösten mukaan, voidaan yli 200 metrin johtohaarat jättää ilman erillistä maadoitusta. (Lakervi & Partanen 2008) Seuraavaksi alaluvussa 4.2 perehdytään pienjänniteverkon ylikuormitussuojaukseen, joka on etenkin AMKA-verkon kannalta tärkeää.

## 4.2 Ylikuormitussuojaus

Ylikuormitustilanteissa suojalaite suojaa sähköjohtoja kuormitusvirran aiheuttamalta yllilämpenemiseltä ja estävät näin uhkaavan tulipalon. Ylikuormitussuojaus on toteutettu pienjänniteverkoissa sulakkeilla. Maakaapeleiden ja ilmajohtojen ylikuormitussuojaus eroaa toisistaan. Maakaapeleilta eikä paljailta itsestään sammuvilta johtimilta vaadita ylikuormitussuojausta. AMKA-johdoilta suojaus kuitenkin vaaditaan. Maakaapeleiden suojauksen tarpeettomuus perustellaan sillä, että ne ovat yleensä asennettu palonkestävästi. Poikkeuksena on, että liittymiskaapelit saattavat tarvita paremman suojauksen. Tällöin pienjännitekaapeleiden suojaaminen voidaan toteuttaa taulukon 4.1 (ks. seuraava sivu) mukaisesti. (Lakervi & Partanen 2008; Simonen 2006)

**Taulukko 4.1.** Pienjännitekaapeleiden suurimmat ylivirtasuojan nimellisvirrat, kun käytössä gG-sulake (Simonen 2006).

Kaapeli	Liittymisjohdot		Runkojohdot
	Kuluttajan pääsulake [A]	Liittymisjohdon oikosulkusulake [A]	Sulake [A]
<b>AXMK 4 * 25</b>	80	160	100
<b>AXMK 4 * 35</b>	100	250	125
<b>AXMK 4 * 50</b>	125	315	125
<b>AXMK 4 * 70</b>	125	400	160
<b>AXMK 4 * 95</b>	160	500	200
<b>AXMK 4 * 120</b>	200	630	250
<b>AXMK 4 * 150</b>	200	630	250
<b>AXMK 4 * 185</b>	250	800	315
<b>AXMK 4 * 240</b>	315	1000	400
<b>AMCMK 3 * 25/16</b>	80	160	100
<b>AMCMK 3 * 35/16</b>	80	200	125

**Taulukko 4.2.** AMKA-johtojen ylikuormitussuojana toimivan gG-sulakkeen nimellisvirrat eri lämpötiloissa (Lakervi & Partanen 2008).

AMKA	Nimellisvirta $I_n$ [A]		
	Ympäristön lämpötila [°C]		
	20	25	40
<b>3 * 16 + 25</b>	63	50	50
<b>3 * 25 + 35</b>	80	63	63
<b>3 * 35 + 50</b>	100	80	80
<b>3 * 50 + 70</b>	125	100	100
<b>3 * 70 + 95</b>	160	125	125
<b>3 * 120 + 95</b>	200	200	160

Yläpuolella olevassa taulukossa 4.2 on esitetty pienjänniteverkon AMKA-riippukierrekaapeleiden ylikuormitussuojauksessa käytettävien gG-sulakkeiden enimmäiskoot eri ympäristön lämpötiloissa. gG-tyyppi tarkoittaa johdon ylikuormitus- ja oikosulkusuojaus tarkoittua sulaketta. Sulaketta mitoittaessa on siis huomioitava se, että ylikuormitus- ja oikosulkusuojaus liittyvät toisiinsa. Sulake täytyy mitoittaa siten, että se kestää kuormitusvirtaa. Toisaalta, kuten aiemmin jo tässä luvussa on mainittu, sen on myös toimittava tarpeeksi nopeasti pienimmän yksivaiheisen oikosulun tapahtuessa johdon loppupäässä. (Lakervi & Partanen 2008) Seuraavassa alaluvussa tarkastellaankin tarkemmin oikosulkusuojausta pienjänniteverkoissa.

### 4.3 Oikosulkusuojaus

Oikosulkusuojauksen periaate on, että suojalaite katkaisee piirin tietyssä ajassa, kun oikosulku on tapahtunut. Oikosulkusuojausta varten tulee selvittää oikosulkuvirrat, joita esiintyy yksi-, kaksi- ja kolmivaiheisinä.

Pienjänniteverkon syötön nopea poiskytkentä on tapahduttava enimmäisajassa, jonka pienin yksivaiheinen oikosulkuvirta määrää. Vikavirran tulee olla riittävä, jotta sulake toimisi nopeasti. Yksivaiheinen oikosulkuvirta pystytään laskemaan yhtälöllä 4.1. (Lakervi & Partanen 2008)

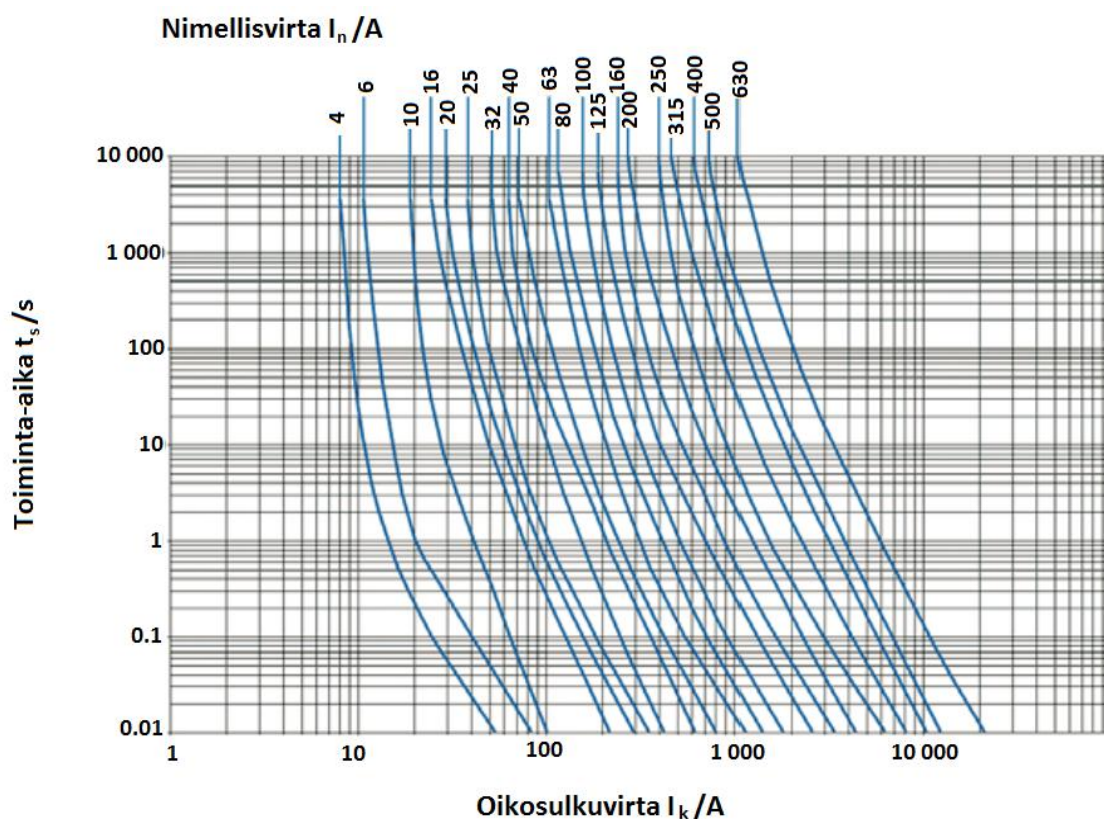
$$I_{k1v} = \frac{3U_v}{\sqrt{\left(2R_m + R_{m0} + 3l(r_j + r_0)\right)^2 + \left(2X_m + X_{m0} + l(2x_j + x_{j0} + 3x_0)\right)^2}} \quad (4.1)$$

, jossa

$U_v$ =	vaihejännite
$r_j$ =	vaihejohtimen resistanssi
$R_m$ =	muuntajan oikosulkuresistanssi
$x_j$ =	vaihejohtimen reaktanssi
$X_m$ =	muuntajan oikosulkureaktanssi
$x_{j0}$ =	vaihejohtimen nollareaktanssi
$R_{m0}$ =	muuntajan nollaresistanssi
$r_0$ =	nollajohtimen resistanssi
$X_{m0}$ =	muuntajan nollareaktanssi
$x_0$ =	nollajohtimen reaktanssi
$l$ =	johdon pituus

Pienillä kirjaimilla kirjoitetut suureet ovat pituusyksikköä kohti.

Tämän jälkeen, kun tiedetään oikosulkuvirran suuruus, voidaan sulakkeen toiminta-aika katsoa käyrästöiltä. Kuvassa 4.3 (ks. seuraava sivu) on esimerkkinä jakeluverkkojen suojauksessa käytettyjen OFAA-mallisten gG-kahvasulakkeiden toimintakäyrästö, josta voidaan määrittää sulakkeiden oikea toiminta-aika. (Lakervi & Partanen 2008; ABB 2014)



**Kuva 4.3.** OFAA-mallisten gG-kahvasulakkeiden toiminta-ajat eri oikosulkuvirroilla (ABB 2014).

Sulakkeen havaitseman oikosulkuvirran tulee olla riittävän suuri, jotta vaatimus syötön automaattisesta poiskytkennästä viidessä sekunnissa täyttyy. Jakeluverkoissa voidaan verkonhaltijan harkinnan mukaan käyttää myös pidempiä poiskytkentäaikoja. Tällöin ei kuitenkaan saa ylittää 15 s toiminta-aikaa. Alla olevassa taulukossa 4.3 on esitetty jakeluverkon automaattisen poiskytkennän suorittavan sulakkeen nimellisvirran  $I_n$  suhde verkon pienimpään oikosulkuvirtaan. Mikäli taulukon arvot eivät ole voimassa, vian aikainen jännite maahan nähden ei saa ylittää 75 V. (SA 2:08; Simonen 2006)

**Taulukko 4.3.** Pienimmät oikosulkuvirrat pienjänniteverkossa suojauksen toiminnan kannalta (SA 2:08).

Sulakekoko	Pienin oikosulkuvirta
gG-sulake $I_n \leq 63 \text{ A}$	$2,5 * I_n$
gG-sulake $I_n > 63 \text{ A}$	$3,0 * I_n$

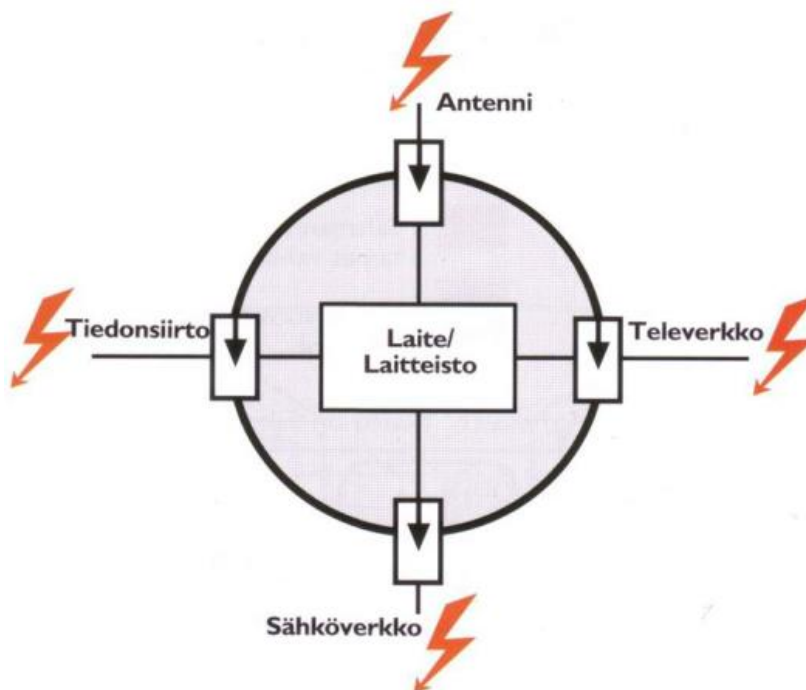
#### 4.4 Ylijännitesuojaus

Ylijännitesuojausta ei ole pidetty erityisen kannattavana pienjänniteverkoissa, joten niiden käyttö on ollut harvinaista. Nykyään ylijännitesuojaukseenkin on alettu kiinnittää huomiota, sillä herkkien elektroniikkalaitteiden määrä on kasvanut huimasti viime aikoina.

Ylijännitteitä muodostuu sähköjohdoissa aina, kun sähkövirrassa tapahtuu äkillisiä muutoksia. Tyypillisesti ylijännitteitä syntyy muun muassa laitteiden kytkemisen, oikosulkujen ja ukkospurkausten yhteydessä. Verkon kautta ylijännitteet pääsevät laitteiden ja päätteiden herkkiin liitäntöihin. Salaman aiheuttamat ylijännitteet ovat energialtaan suurimpia, joten ne myös aiheuttavat suurimmat tuhot. (Loiste 2014a) Tässä alaluvussa keskitytäänkin vain ukkosylijännitteisiin.

Ukkosen aiheuttamat ylijännitteet voivat tulla kiinteistöön sähkönsyötön kautta. Tämän lisäksi ylijännitteet pääsevät myös kiinteistön piha-, puhelin-, antenni ja tiedonsiirtojohtojen kautta. Tavallista on, että salamanisku osuu kiinteistön lähellä osuvaan puuhun ja maan potentiaalın kasvamisesta johtuen ylijännite tulee sisään maadoitusta pitkin. (Loiste 2014a)

Jakeluverkonhaltijan liittymiskohtaan tekemä ylijännitesuojaus ei ole riittävä kunnollisen suojauksen toteuttamiseen. Luotettavassa suojauksessa myös esimerkiksi tietoliikenne- ja antenniverkkojen suojaus tulee olla kunnossa kuvan 4.4 mukaan. (Loiste 2014a)



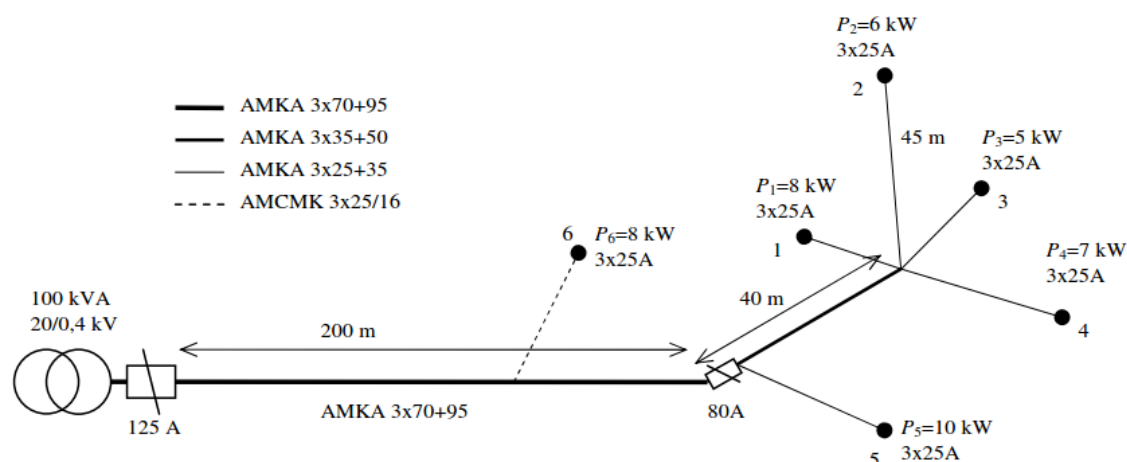
**Kuva 4.4.** Tehokas ylijännitesuojaus (Loiste 2014a).

Ylijännitesuojauksen yleisimmät komponentit sähköverkon suojauksessa ovat kipinäväli ja varistori. Kipinäväleillä on hyvä salamavirran purkauskkyky. Siksi niitä käytetään sähköverkon ukkospurkaussuojina.

Lopuksi alaluvussa 4.5 kerrataan sulakesuojausta sekä AMKA- että kaapeliverkossa. Seuraavaksi käydään siis esimerkein läpi sulakesuojausten toteuttamisen periaatteita.

## 4.5 Esimerkkejä sulakesuojauksesta AMKA- ja kaapeliverkossa

Kuvassa 4.5 on esitetty tyypillisen AMKA-verkon sulakesuojaus. Kuormitushuipun aikaiseksi lämpötilaksi on oletettu 20 °C. Mitoitustehot ja liittymien sulakkeet ovat kuvan mukaiset. Lähteessä (Simonen 2006) mitoituslaskelma pienjännitelähdölle on saatu tarkasteluajan lopussa 62 kW. Tätä vastaava kuormitusvirta on noin 94 A. Näin ollen lähdön sulakkeeksi voidaan valita nimellisvirraltaan  $I_n = 125$  A sulake, kun epätarkkuudet otetaan huomioon (ks. taulukko 4.2). Lähdön sulake toimii AMKA 70 -runkojohdon ylikuormitussuojana.



**Kuva 4.5.** Esimerkki sulakesuojausten toteuttamisesta AMKA-verkossa (Simonen 2006).

Pienin yksivaiheinen oikosulkuvirta esiintyy verkon loppupäässä. Kuvan 4.5 tapauksessa tämä esiintyy liittymällä 2. Lähteessä (Simonen 2006) pienimmän yksivaiheisen oikosulkuvirran suuruudeksi on saatu kaavan 4.1 avulla  $I_{k1v} = 592$  A. Runkojohdolle valittu 125 A:n sulake käy myös syötön nopean poiskytkennän puolesta, koska taulukossa 4.3 esitetty vaatimus täyttyy ( $I_{k1v} \geq 3 * I_N$ ). 125 A gG-sulake toimii kuvan 4.3 käyrän mukaisesti alle kolmessa sekunnissa, kun virta on 592 A.

Liittymien 1 – 5 pääsulakkeiden nimellisvirtojen summaksi saadaan 125 A. Tämä on suurempi kuin AMKA 35 -johtimen maksimikuormitettavuus 115 A. Näin ollen täytyy käyttää taulukon 4.2 mukaisesti enintään 100 A:n välisulaketta. Välisulakkeen jälkeisen verkonosan suurin kuormitusvirraksi on lähteessä (Simonen 2006) saatu tarkastelujakson lopussa noin 77 A. Tämä mahdollistaa valita 80 A:n sulakkeen, joka toteuttaa myös selektiivisyyden. Verkoston ylikuormitussuojaus hoituu kuvan 4.5 tapauksessa liittymien

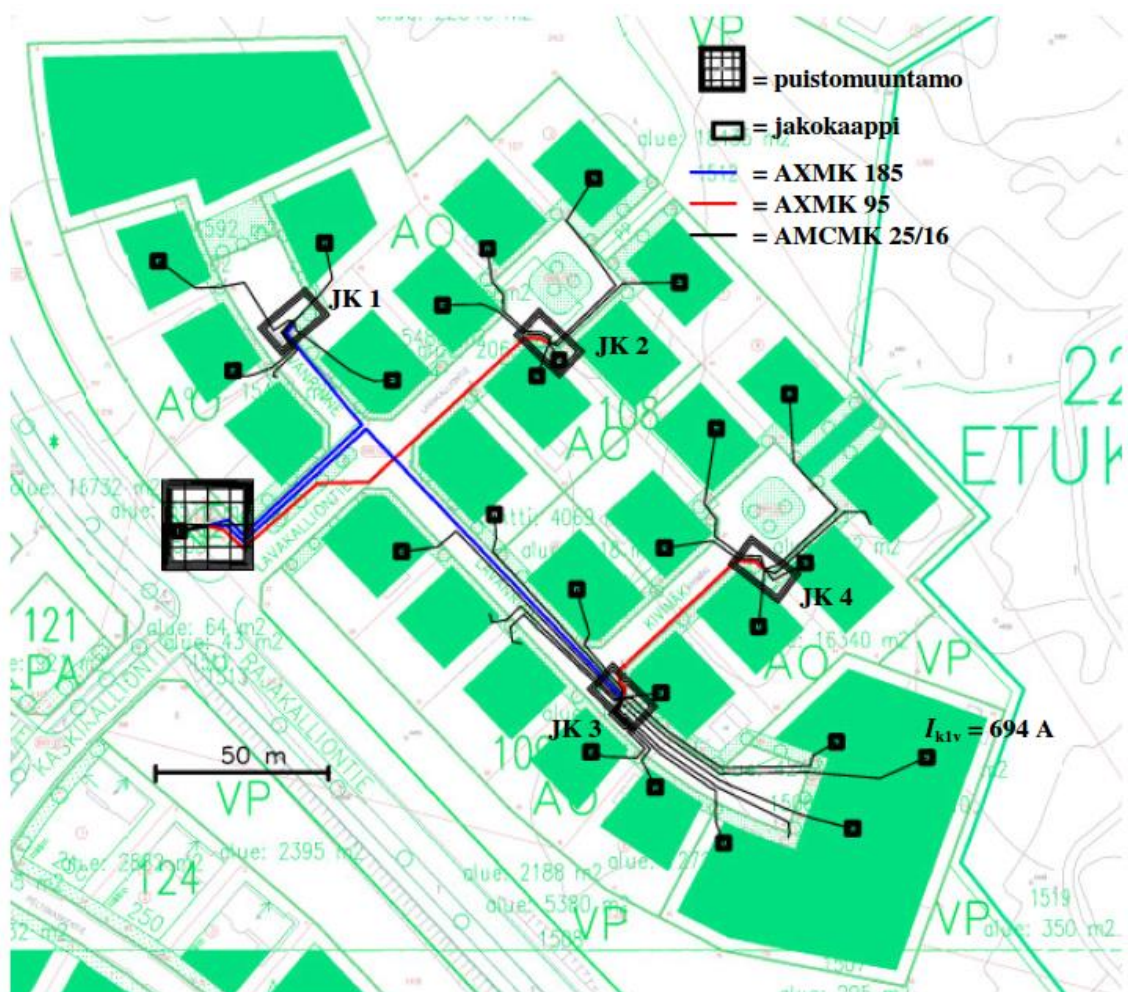


pääsulakkeilla ja pienjännitelähdön sulakkeella, koska jakeluverkon 125 A sulake palaa alle viidessä sekunnissa.

125 A sulake runkojohdolla rajoittaa liittymää syöttävän johdon poikkipinnaksi liittymällä 6 vähintään 16 mm<sup>2</sup> alumiinia tai 10 mm<sup>2</sup> kuparia oikosulkukestoisuuden vuoksi. (Simonen 2006)

Edellä on havainnollistettu AMKA-verkon sulakesuojauksen periaatteita ja sen suunnittelua. Seuraavaksi käydään läpi esimerkin avulla kaapeliverkon sulakesuojauksen suunnittelua ja toteutusta.

Kuvassa 4.6 on esitetty tyypillinen kaapeloitu omakotialue. Lähteessä (Simonen 2006) oletetaan, että kuvan alue on lähes valmiiksi rakennettu. Kuormituksen oletetaan kasvavan vielä 10 vuotta kolme prosenttia vuodessa. Jokaisen liittymän pääsulakkeet ovat 3 x 25 A. Pienjännitelähtöjen alkutilanteen maksimitehot ovat lähteen (Simonen 2006) mukaan:  $P_{JK1} = 24 \text{ kW}$ ,  $P_{JK2} = 37 \text{ kW}$  ja  $P_{JK3} = 78 \text{ kW}$ .



Kuva 4.6. Esimerkkialue kaapeliverkosta (Simonen 2006).

Kaapeliverkkojen sulakesuojaus eroaa jonkin verran AMKA-verkkojen suojauksesta. Kaapeliverkoissa käytetään jakokaapeilla välisulakkeita. Tätä AMKA-verkoissa ei ole. Tyypillisesti kaapeliverkoissa käytetään myös silmukayhteyksiä jakokaappien välillä. Tällöin vikatilanteissa syöttö voidaan ohjata toista reittiä. Sulakesuojauksessa tulee ottaa huomioon nämä varasyöttötilanteet, jotta kaapeleiden kuormitettavuus saataisiin käytettyä tarkkaan hyödyksi ilman vaurioitumisriskiä. (Simonen 2006)

Ensiksi valitaan runkojohdolle sulakkeet. JK3:a (ks. kuva 4.6) syöttävän runkojohdon suurimmaksi kuormitusvirraksi on saatu lähteessä (Simonen 2006) noin 120 A. Lähteessä myös oletetaan, että kuormitus kasvaa kuvan 4.6 alueella vielä 10 vuotta 3 %/a. Loppuhetkellä maksimivirta on siis noin 161 A. Taulukon 4.1 mukaisesti AXMK 185 - johdon sulake voisi olla nimellisvirraltaan 315 A. Kuormitusvirran pienuuden vuoksi voidaan valita kuitenkin lähdölle JK3 200 A:n sulake.

Lähdöllä JK2 kuormitusvirta on kuormituksen kasvu huomioiden noin 75 A ja AXMK 95 -kaapelin suurin sallittu sulake on taulukon 4.1 mukaan 200 A. Voidaan siis valita JK2-lähdön sulakkeen nimellisvirraksi 100 A. JK1-lähdön kuormitus on aluksi pieni, mutta lähteen (Simonen 2006) mukaan lähelle saatetaan tulevaisuudessa rakentaa rivitalo. Tämän kuormituksen kasvun varalta voidaan valita esimerkiksi 200 A sulake, sillä lähdön pienin oikosulkuvirta  $I_{k1v} = 1\,268$  A on riittävän suuri kyseiselle sulakkeelle.

Jokaiselle jakokaapille asennetaan liittymäkohtaiset välisulakkeet. Niiden suurin sallittu nimellisvirta on taulukon 4.1 mukaisesti AMCMK 25/16 -liittymiskaapeleille 160 A. Näin suurta välisulaketta ei kuitenkaan ole järkevää valita, sillä liittymien pääsulakkeet ovat nimellisvirraltaan vain 25 A. Selektiivisyys, ylikuormitus- ja oikosulkusuojaus täytyvät 63 A välisulakkeilla kaikilla jakokaapeilla. Mikäli runkojohto kulkee jakokaapin läpi, asennetaan sillekin ylivirtasuojaksi välisulake. JK3:n ja JK4:n välillä kulkee AXMK 95 -runkojohto, jonka välisulakkeeksi lähteessä (Simonen 2006) on valittu 100 A sijoitettavaksi JK3:lle. Tällöin JK4:n liittymiä syöttäville johdoille voidaan valita selektiivisyyden täyttävät 63 A:n sulakkeet.

Viimeiseksi täytyy tarkastaa syötön nopean poiskytkennän toteutuminen ja täyttyminen. Pienin oikosulkuvirta kuvan 4.6 verkossa esiintyy JK3:n kauimmaisella asiakkaalla. Lähteessä (Simonen 2006) pienimmän oikosulkuvirran suuruudeksi on saatu 694 A. Taulukon 4.3 ehto syötön nopealle poiskytkennälle täyttyy JK3:n 63 A välisulakkeella. Koska muillekin jakokaapeille valitaan 63 A välisulakkeet ja oikosulkuvirrat ovat muualla verkossa suuremmat, poiskytkentäehdosta ei aiheudu ongelmia.

Näin on saatu kuvan 4.6 esimerkialueen kaapeliverkon sulakesuojaus toteutettua ja suunniteltua niin, että suojaukset toimivat oikein ja määräysten mukaisesti.

## 5 VIKOJEN HAVAITSEMINEN JA PAIKANTAMINEN

Suurin osa pienjänniteverkon vioista tapahtuu ilmajohdoilla. Paras keino parantaa sähkön toimintavarmuutta olisi siirtyä ilmajohdoista maakaapeleihin. Tämän lisäksi koko jakeluverkko tulisi rakentaa rengasmaiseksi, jossa on riittävästi varayhteyksiä ongelmaja vikatilanteita varten. Suomessa valtaosa sähköverkosta on kuitenkin alueilla, joissa asiakkaat ovat hyvin pitkienkin matkojen päässä toisistaan.

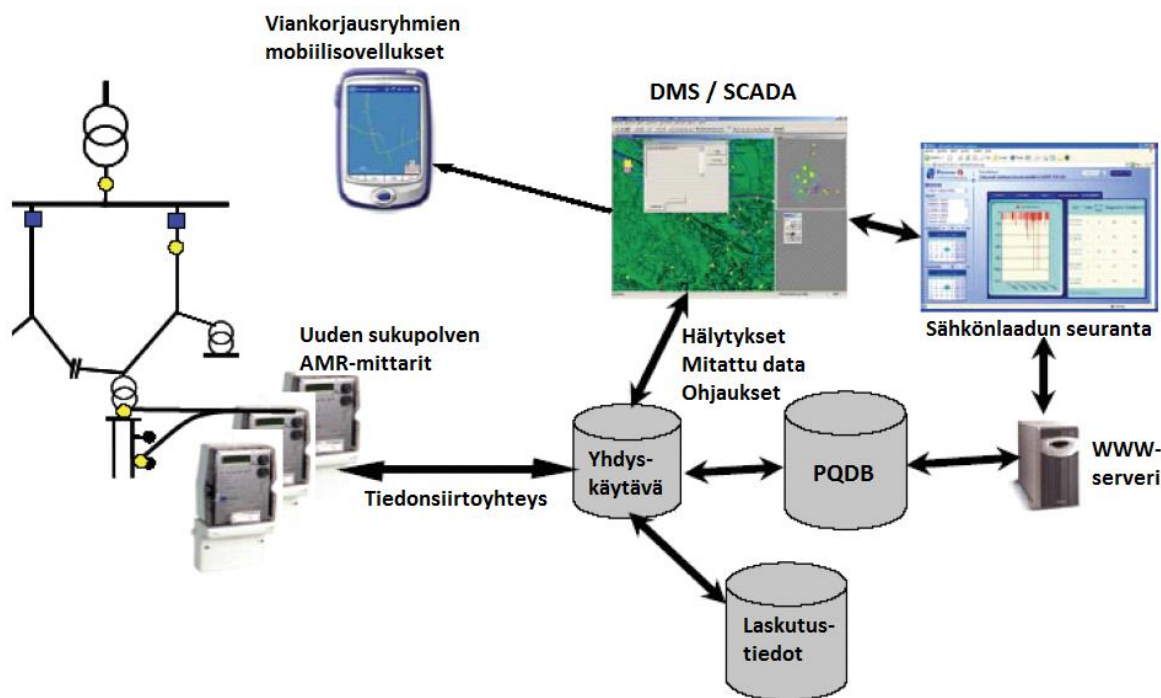
Asiakkaan kokemia sähkönjakelun keskeytyksiä voi lyhentää myös muilla tavoin. Juurikin pienjänniteverkon vikojen varhainen havaitseminen ja paikantaminen vähentävät merkittävästi sähkönjakelun pitkiä katkoksia loppukäyttäjillä.

Keskeytysaikoja voidaan lyhentää myös esimerkiksi etäluettavien mittareiden, eli AMR-mittareiden (Automatic Meter Reading) avulla. Tavallisesti verkonhaltija on saanut automaattisesti tiedon vain keskijänniteverkossa esiintyvistä keskeytyksistä. Kotitalouksia ja pienyrityksiä syöttävän pienjänniteverkossa tapahtuvista vioista on saatu tieto vain suoraan asiakkailta. Nykyään etäluettavilta mittareilta verkonhaltija pystyy saamaan automaattisesti tietoa myös pienjänniteverkon keskeytyksistä. (Energiateollisuus 2014b)

Tässä luvussa tarkastellaan lähemmin pienjänniteverkossa tapahtuvien vikojen havaitsemista ja paikantamista. Alaluvussa 5.1 esitellään AMR-mittareita ja niiden toimintaa vikojen havaitsemisessa pienjänniteverkossa. Lopuksi alaluvussa 5.2 havainnollistetaan erään suomalaisen verkkoyhtiön käyttämää vikatilastointiprosessia PJ-verkon vioille. Tässä pyritään myös löytämään keino prosessiin tehostamiseksi.

### 5.1 AMR

Etäluettavien mittareiden ensisijainen tarkoitus on kerätä automaattisesti kaukoluennalla tietoa energian (sähkö, kaasu, vesi tai kaukolämpö) kulutuksesta asiakkailta. AMR-teknologia tarjoaa kaksisuuntaista tiedonvälitystä. Tämä mahdollistaa pienjänniteverkon paremman reaaliaikaisen seurannan. Kuten seuraavalla sivulla olevasta kuvasta 5.1 nähdään, AMR-mittarit ovat osana pienjänniteverkon hallintaa. Nykyajan mittarit toimivat sekä laskutuksen että vikojen hälytysjärjestelmänä. (Mäkinen et al. 2013)



**Kuva 5.1.** AMR-mittareiden käyttö verkonhallinnassa (Mäkinen et al. 2013).

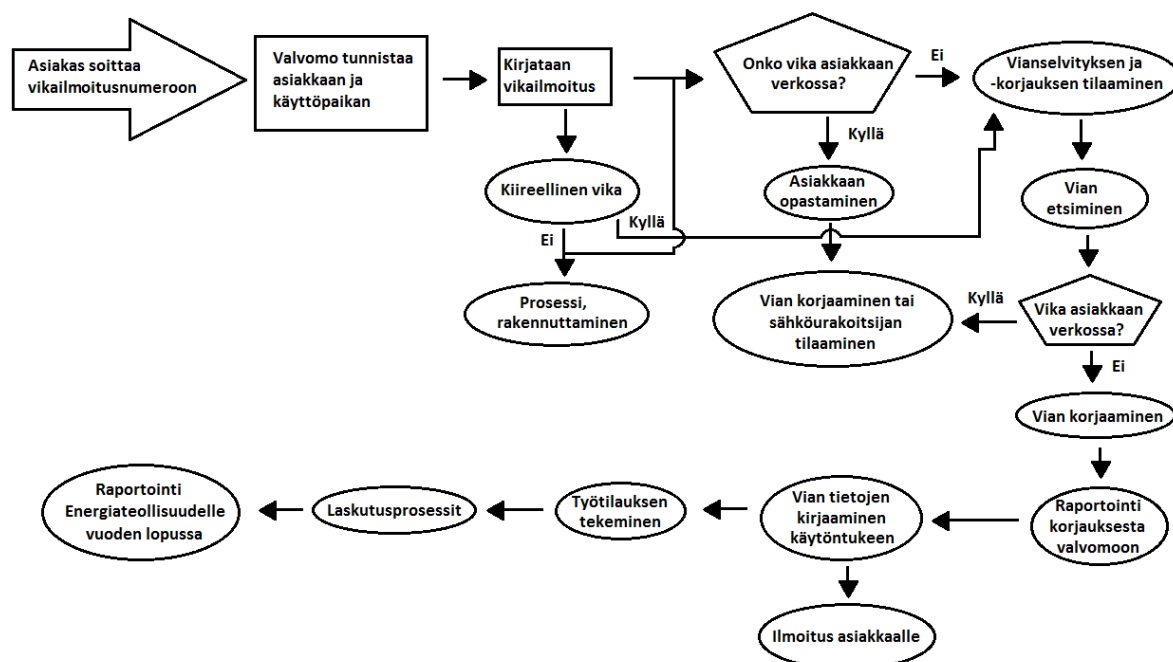
Nykyajan etäluettavat mittarit varustetaan yhä useammin hälytysominaisuuksilla. AMR-mittarit pystyvät havaitsemaan vian ja tunnistamaan sen tyypit. Saatujen tietojen perusteella mittari lähettää hälytyksen. Hälytys lähetetään, jos esimerkiksi nollajohdin katkeaa, vaihejännite puuttuu tai jakelujännitteen laatu ei ole ohjearvojen mukainen (Löf 2009). AMR-mittarit mahdollistavat myös entistä tarkempia tietoja sähkökatkoksista, sillä mittarit mittaavat pienjänniteverkossa tapahtuvien vikojen kestoja. Hälytysten lisäksi mittarit kykenevät rekisteröimään sähkön laatuun liittyviä tietoja. Näitä ovat muun muassa jänniterajojen alitukset ja ylitykset. (Järventausta et al. 2007)

AMR-mittareiden avulla viat voidaan havaita ja tunnistaa hetkessä. Lisäksi mittarit mahdollistavat vian automaattisen paikantamisen. Tämä auttaa ohjaamaan korjaushenkilökuntaa suoraan vikapaikkaan, jolloin sähkökatkos jää mahdollisimman lyhyeksi. (Mäkinen et al. 2013)

## 5.2 Pienjänniteverkon vikatilastointi

Kun asiakas kokee sähköjakelun katkoksen tai häiriön, tulee hänen ottaa yhteyttä omaan sähköverkkoyhtiöön ja kertoa häiriöstä. Vain tällä tavoin saadaan tietää tapahtuneista vioista pienjänniteverkossa. Seuraavalla sivulla olevassa kuvassa 5.2 on esitetty piirikaavio vikatilastoinnin toiminnasta. Piirikaavion mukaan asiakkaan vikailmoituksen jälkeen verkkoyhtiön valvomo tunnistaa asiakkaan sekä käyttöpaikan, ja kirjaa vikailmoituksen tietojärjestelmään. Tämän jälkeen selvitetään vian kiireellisyysluokka. Samalla selvitetään, onko vika asiakkaan vai verkkoyhtiön verkossa. Jos vika ei ole asiakkaan verkossa, valvomosta tilataan vianselvitys ja -korjaus puhelimitse. Tämän jälkeen vika etsitään ja korjataan. Lopulta korjauksesta ilmoitetaan valvomoon, jossa vian

tietoja kirjataan käytöntukeen ja tehdään ilmoitus asiakkaalle. Prosessin lopuksi tehdään laskutusprosesseja, ja aina vuoden lopulla lähetetään raportti vioista Energiateollisuudelle.



**Kuva 5.2.** Vikatilastointiprosessin piirikaavio.

Prosessin tarkoituksena on siis korjata sähkö- tai viestiverkon viat sekä sähköasemaviat. Verkossa olevat viat pyritään rajaamaan kytkennöillä pienemmälle alueelle siten, että asiakkaille aiheutuisi mahdollisimman vähän haittaa. Vian rajaamisen jälkeen etsitään vian aiheuttaja ja korjataan aiheutuneet vauriot sekä palautetaan sähköverkko takaisin normaaliin käyttötilanteeseen. Vioista tehdään vikailmoitus ja sähköverkon vioista työtilaus. Lisäksi jokaiselle keskeytykselle tehdään keskeytysanalyysi. Tämän avulla lasketaan ja hyväksytään keskeytyksen perustiedot raportointia varten. Raportointeja tehdään yhtiön sisäistä käyttöä ja viranomaisia varten.

Vikatilastointiprosessi muuttuu hieman, kun kyseessä on suurhäiriö. Kuten jo luvussa 3.2 on mainittu, suurhäiriö on tilanne, jossa vikoja tapahtuu useita samaan aikaan. Tällöin keskitytään pienjänniteverkon vikojen sijasta keskijänniteverkossa sattuneisiin vikoihin, sillä ne ovat yleensä kiireellisempiä. Tämä johtuu siitä, että keskijännitelähdön takana on huomattavasti enemmän sähkönkäyttäjiä. Kuitenkin suurin prioriteetti on vioissa, jotka voivat aiheuttaa hengenvaarallisia tilanteita. Tällöin pienjänniteverkonkin viat ovat yhtä kiireellisiä.

Suurhäiriötilanteissa valvomossa keskitytään siis pelkästään kiireellisiin tapauksiin. Pienjänniteverkon vioista vastaa tällöin erillinen ryhmä, joka toimii eri tiloissa. Eräs merkittävä tavoite olisikin saada suurhäiriötilanteissa nopeutettua myös PJ-verkossa tapahtuneiden vikojen tilastointi- ja korjausprosesseja. Verkkoyhtiöt kuitenkin seuraavat esimerkiksi säätiedotuksia ja voivat näin varautua mahdollisiin suurhäiriöihin lisäämällä henkilöstöä. PJ- ja KJ-verkkojen vikatilastointi tulisi kuitenkin tulevaisuudessa saada

erilleen, jotta suurhäiriötilanteissa pystyttäisiin keskittymään kummassakin jännitetasossa sattuneisiin vikoihin. Tällöin tilastointeja ei jaoteltaisi kiireellisiin ja kiireettömiin. Samalla vikatilastointiprosessia pystyttäisiin nopeuttamaan ja asiakkaiden kokemat haitat pienenisivät.

Tilanteissa, joissa asiakas soittaa vikailmoitusnumeroon ja ilmoittaa sähkönjakelun häiriöstä, voidaan AMR-mittarin avulla tarkastaa, tuleeko asiakaspaikkaan sähköt. Jos mittarikysyntä varmistaa, että asiakkaalle tulee kaikki vaiheet, vika on hyvin todennäköisesti asiakkaan omassa verkossa. Tällä keinolla saadaan vähennettyä turhia käyntejä ja myöskin urakoitsijoille maksettua palkkioita aiheettomista käynneistä. AMR-mittareita käytetään tämän kaltaisten tapausten lisäksi myös pienjänniteverkon automaattiseen vikojen ilmaisemiseen ja vian vaikutusalueen paikantamiseen.

AMR-mittareiden käyttö automaattiseen vikatilastointiin nopeuttaisi tätä prosessia ja vikojen aiheuttamat haitat pienentyisivät. Samalla asiakkaiden ei tarvitsisi erikseen ilmoittaa sähkökatkoksista verkkoyhtiölle. Etäluettavien mittareiden käyttö kuitenkin tällaisissa tapauksissa ei ole vielä täysin mahdollista. Eräs oleellinen ongelma on, että AMR-mittareiden viestintä on rajoitettu vain yksi- tai kaksivaiheisiin vikatapauksiin. Tämä on tehty siksi, koska muutoin mittareiden tulisi kommunikoida myös keskijänniteverkon vikatapauksissa. Tämä aiheuttaisi turhia massaviestejä. Ratkaisu tähän ongelmaan olisi se, että kehitettäisiin menetelmä, joka yhdistäisi PJ- ja KJ -verkkojen reaaliaikaisen vikatilastoinnin, mutta samalla erottaisi näiden eri jännitetasojen viat. Näin saataisiin mukaan myös kolmivaiheiset PJ-vikatapaukset automaattiseen vikojen tunnistamiseen ilman, että tulisi KJ-verkon vioista ilmoituksia kahta kertaa.

Eräs toinen, ei kuitenkaan niin merkittävä, ongelma AMR-mittareiden käytöstä automaattiseen vikatietojen keräämiseen on se, että mittareiden kommunikaatio tulee tapahtua reaaliaikaisesti. Tämä aiheuttaa tiedonsiirtokanaviin ongelmia, sillä siirrettävät tietomäärät mittareista olisi tällöin suuret, ja kasvavat koko ajan uusien sähkönkäyttöpaikkojen myötä. Tähän tulisi kehittää ratkaisu, jotta suuret tietomäärät eivät tukkisi tiedonsiirtokanavia täysin. Muutoin AMR-mittareiden perustarkoitus, eli kulutustietojen etäluenta, saattaisi häiriintyä.

Nykytekniikalla ei siis saavuteta täysin aukotonta automaattista pienjänniteverkon vikatapauksen tunnistamista ilman, että asiakas tekisi vikailmoituksen. Tällä hetkellä käytössä olevat AMR-DMS -integraatiot kuitenkin helpottavat PJ-verkon tilan valvontaa. Lisätutkimuksen kohteena onkin saada toteutettua tekniikka, jolla saadaan ratkaistua nykyiset ongelmat AMR-mittareiden käytöstä PJ-vikojen automaattiseen vikojen tunnistamiseen. Toinen mahdollisuus onkin kehittää täysin erillinen järjestelmä pienjännitevioille. Tämä aihe tarvitsee paljon lisätutkimusta ja kehitystä, jotta saadaan toimiva ratkaisu tähän ongelmaan.



## 6 VIKOJEN ANALYSOINTI

Tämän luvun aiheena on analysoida erilaisia vikoja sekä ilmajohto- että kaapeliverkossa. Analysointiin osallistuu Loiste Sähköverkko Oy, jonka verkkovastuualue sijaitsee pääosin Kainuussa. Loiste käyttää Trimble DMS -käytöntukijärjestelmää kytkentätilanteen ylläpitoon ja valvontaan sekä jakelun häiriötilanteiden hallintaan. Tällä järjestelmällä Loiste Sähköverkko Oy pystyy hallitsemaan lähes reaaliaikaisesti pienjänniteverkon häiriötilanteita sekä suunniteltuja kytkentätöitä ja keskeytyksiä. Käytöntukijärjestelmä kykenee myös paikantamaan vikoja. (Tekla 2014)

### 6.1 Loiste Sähköverkko Oy

Loiste-konserniin kuuluu useita yhtiöitä. Suomessa Loisteella on noin 200 000 asiakasta ja sähköverkkoa Kainuussa, Pohjois-Pohjanmaalla sekä Kotkassa Karhulan teollisuusalueella. Loiste-yhtiöiden palveluksessa on yli 80 energia-alan osaajaa, jotka toimivat tiiviissä yhteistyössä laajan kumppaniverkoston kanssa. Yhtiöiden yhteenlaskettu liikevaihto vuonna 2013 oli noin 149 miljoonaa euroa. (Loiste 2014b)

Loiste Sähköverkko toimii jakeluverkon haltijana verkkovastuualueella, joka kattaa Kainuun yhdeksän kuntaa sekä Pyhännän kunnan ja osan Siikalatvan kunnasta Pohjois-Pohjanmaalla. Tämä vastuualue on esitetty vihreällä alla olevassa kuvassa 6.1. Loiste Sähköverkon toimintaan kuuluvat sähkön siirto, sähköverkon rakennuttaminen, käyttö- ja kunnossapito sekä näihin liittyvien palveluiden osto. (Loiste 2014b)



**Kuva 6.1.** Loiste Sähköverkon verkkovastuualue (Tolonen 2011).

Verkkovastuualueen koko on noin 22 500 km<sup>2</sup>, joka on seitsemän prosenttia koko Suomen pinta-alasta. Asukkaita tällä alueella on vajaa 90 000 ja sähkönkäyttöpaikkoja vuonna 2013 oli noin 58 000. (Tolonen 2011; Energiavirasto 2013) Loisteen verkkovastuualueella oli vuoden 2013 lopussa pienjännitteistä ilmajohtoverkkoa 3 381,6 km, kun koko Suomessa sitä oli noin 143 325 km. Loiste Sähköverkon PJ-ilmajohtoverkon osuus koko maan vastaavasta on siis noin 2,4 prosenttia. Loisteen PJ-kaapeliverkon pituus vuonna 2013 oli 2 147,8 km, ja vastaava pituus koko Suomessa oli noin 91 889 km. Prosentteina Loisteen pienjännitteisen kaapeliverkon osuus oli niin ikään noin 2,4 % koko maan PJ-kaapeliverkon pituudesta. (PJ-johtopituudet 2014; Energiateollisuus 2013) Kainuussa asukastieheys vuonna 2013 oli 3,7 asukasta/km<sup>2</sup>, kun koko maassa tämä luku oli 17,9 (Kainuunliitto 2013). Loiste Sähköverkon verkkovastuualue on siis melko harvaan asuttu.

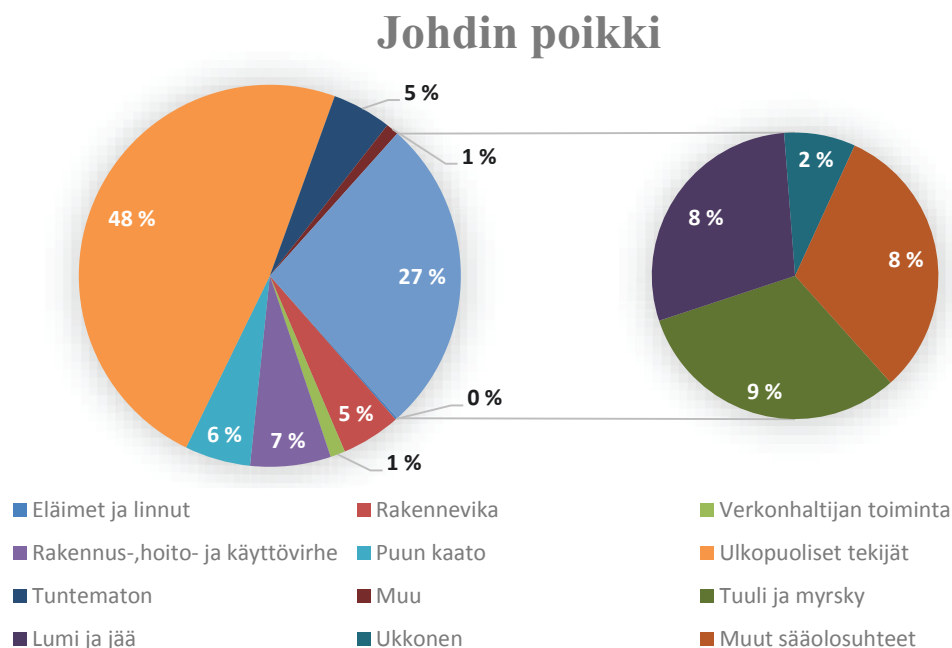
Seuraavaksi perehdytään Loiste Sähköverkko Oy:n pienjänniteverkon vikoihin. Ydinaihe on verrata ilmajohto- ja kaapeliverkossa tapahtuneita vikoja. Jokaisessa vikatyypissä verrataan vikojen aiheuttajia ja niiden prosentuaalisia osuuksia.

### **6.1.1 Vikatyypit ja niiden aiheuttajat ilmajohtoverkossa**

Sähkömarkkinalain määrittämällä Loiste Sähköverkon verkkovastuualueen pienjännitteisessä ilmajohtoverkossa tapahtuneiden vikojen yleisimmät tyypit on esitetty jo aiemmin kuvassa 3.2 (ks. sivu 11). Tästä kuvasta voidaan havaita, että yleisimmin esiintyneet, tunnetut ja määritellyt vikatyypit, olivat poikki menneet johdot, yhdessä olevat johdot, oikosulku, liitinvika ja maa- ja kaksoismaasulku. Kaikkiaan vikoja ilmajohtoverkossa tapahtui 2 396 kappaletta. Nämä vikatyypit ja niiden osuudet on saatu Loiste-verkkoyhtiön pienjänniteverkon vikatilastoista vuosilta 2005 – 2014.

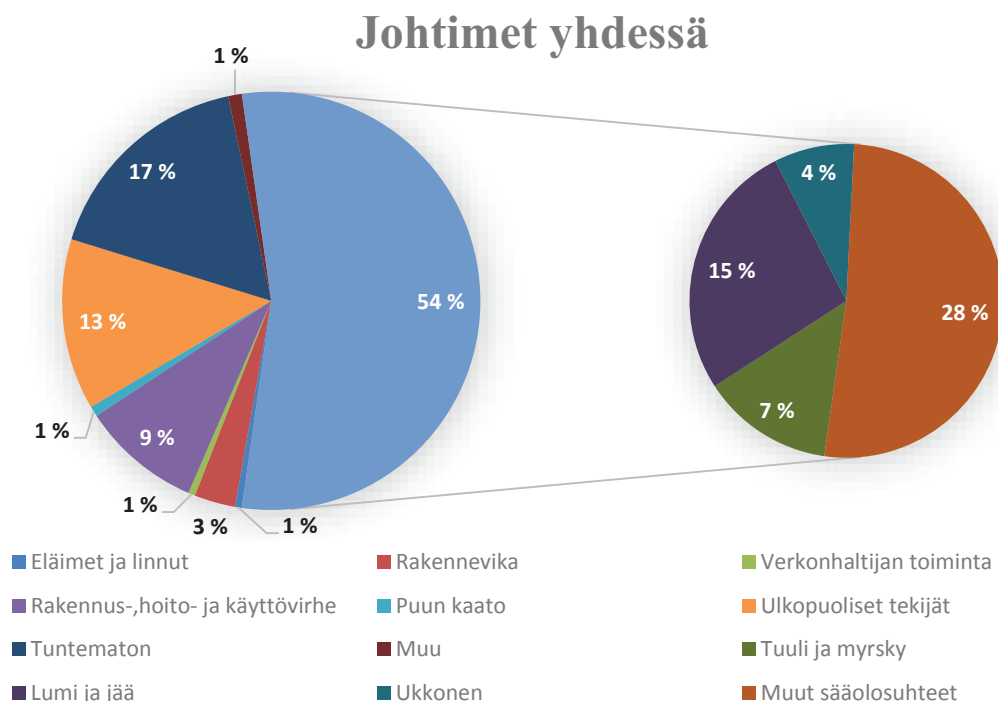
Noin 23 % ilmajohtoverkossa esiintyneistä vioista olivat poikki menneet johdot. Lukumääränä tämä tarkoittaa 557 poikki mennyttä johdinta. Johdinkatkoksia aiheuttavia tekijöitä on esitetty kuvassa 6.2 (ks. seuraava sivu). Ulkopuoliset tekijät aiheuttivat johdinkatkoja eniten. (n. 48 %). Ulkopuolisia tekijöitä olivat muun muassa kaivin- tai metsäkoneen huolimaton käyttö ja ilkivalta. Seuraavaksi yleisin syy johdinkatkoksiin oli luonnonilmiöt. Niiden osuus oli 27 prosenttia poikki menneistä ilmajohdoista. Kuvassa 6.2 on myös eritelty luonnonilmiöt tuuleen ja myrskyyn, lumeen ja jäähän, ukkoseen sekä muihin sääolosuhteisiin. Kuvasta käy ilmi, että johdinkatkoksia aiheuttivat enimmäkseen tuuli ja myrsky, lumi ja jää sekä muut sääolosuhteet. Ukkosen osuus johdinkatkoksiin oli hyvin pieni. Rakennus-, hoito- ja käyttövirheet, puun kaato ja rakenneviat aiheuttavat suhteellisen vähän tämän tyyppisiä vikoja. Näiden kunkin osuus oli vain noin 5 – 7 prosenttia. Verkonhaltijan toiminta sekä eläinten ja lintujen osuus kyseisistä vikatyypeistä oli lähes merkityksetön (0 – 1 %).





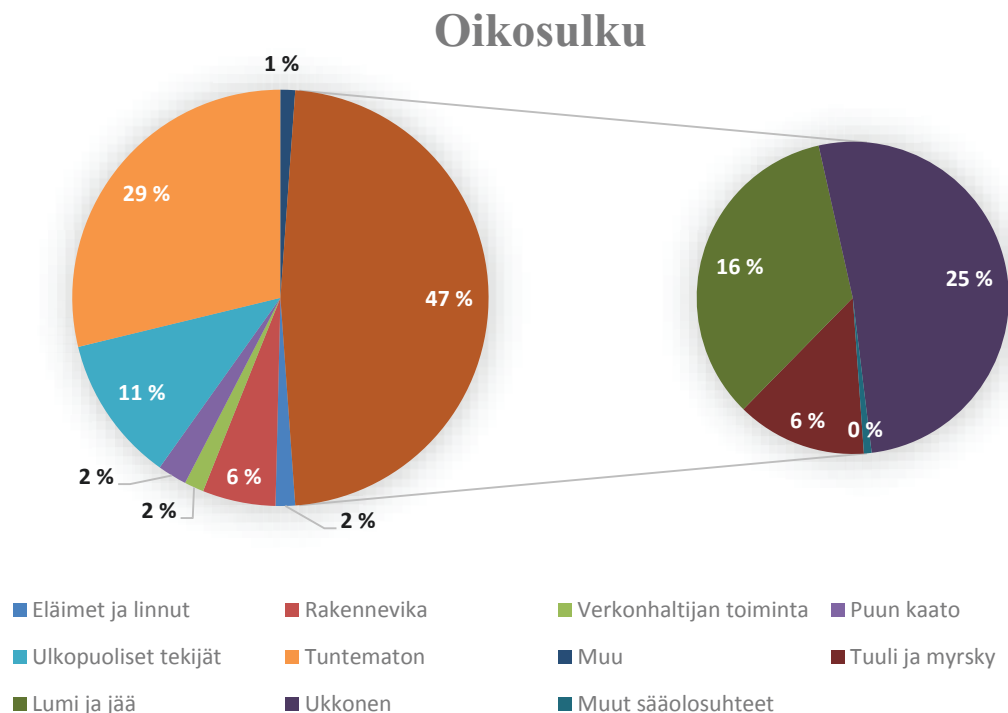
**Kuva 6.2.** Prosentuaaliset osuudet aiheuttajista, joiden vuoksi johdin on mennyt poikki Loiste Sähköverkon pienjännitteisessä ilmajohtoverkossa ajalta 2005 – 2014 (PJ-viat 2014).

Seuraavaksi yleisin vikatyypin oli yhdessä olevat johtimet (n. 16 %). Niitä esiintyi vuosien 2005 – 2014 aikana 378 kappaletta. Toisissaan kosketuksissa olevat johtimet aiheuttivat oikosulkuja, vaihevikoja ja sulakepaloja. Seuraavalla sivulla olevassa kuvassa 6.3 on esitetty aiheuttajat, joiden vuoksi johtimet olivat joutuneet kosketuksiin. Luonnonilmiöt oli pääsyy kyseiseen vikatyypin, sillä ne aiheuttivat noin 54 % tämän tyyppisistä vioista. Nämä ilmiöt on niin ikään eritelty kuvassa 6.3 eri sääilmiöihin. Kuvan mukaan muiden sääolosuhteiden jälkeen suurin aiheuttaja oli lumi ja jää. Esimerkiksi raskas lumi painaa johtimien lähellä olevat puut nojaamaan johtimiin, jolloin ne joutuvat kosketuksiin toisiinsa. Tässäkin tapauksessa ukkosen osuus jäi melko vähäiseksi. Noin 17 prosenttia vikojen aiheuttajista jäi tuntemattomiksi. Ulkopuolisten tekijöiden osuus oli 13 %, ja rakennus-, hoito- ja käyttövirheiden osuus oli 9 %. Rakennevikojen osuus vian aiheuttajista jäi melko pieneksi (3 %). Vähäisin merkitys oli puun kaadoilla, verkonhaltijan toiminnalla ja eläimillä ja linnuilla. Näiden kunkin osuus oli vain prosentti.



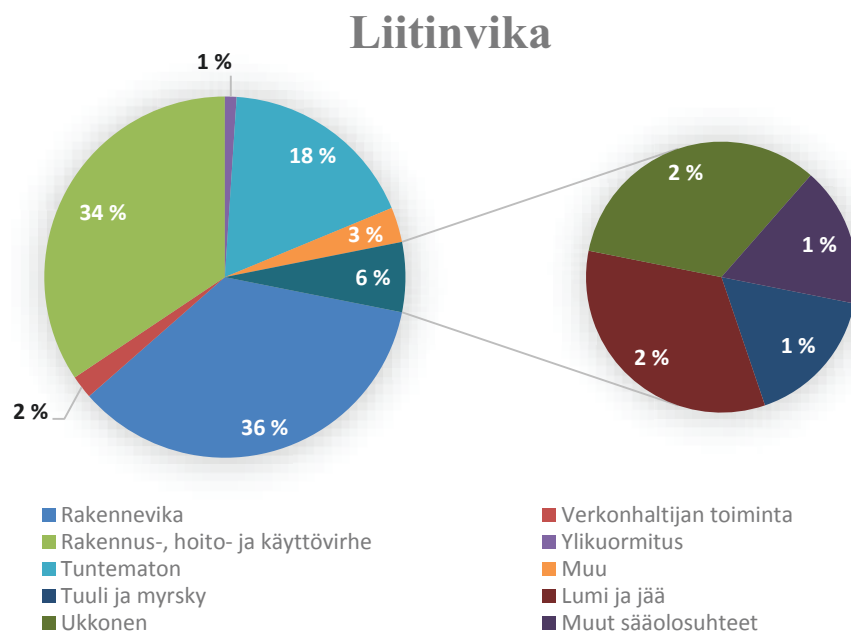
**Kuva 6.3.** Prosentuaaliset osuudet aiheuttajista, joiden vuoksi johtimet ovat joutuneet kosketuksiin Loiste Sähköverkon pienjännitteisessä ilmajohtoverkossa ajalta 2005 – 2014 (PJ-viat 2014).

Tunnetuista ja määritellyistä vikatyypeistä seuraavaksi yleisin oli oikosulku. Niitä tapahtui yhteensä 264 kappaletta. Tämä osuus kaikista vikatyypeistä on 11 prosenttia. Oikosulut aiheuttivat vaihe- ja nollavikoja, sulakepaloja ja komponenttien ja laitteiden rikkoontumisia. Kuten kuvasta 6.4 (ks. seuraava sivu) nähdään, luonnonilmiöt aiheuttivat lähes puolet (n. 47 %) oikosuluista ilmajohtoverkossa. Kuvasta 6.4 pystytään myös määrittämään, että luonnonvoimista ukkonen aiheutti yli puolet (52 %) aiheutuneista oikosuluista. Lumi ja jää aiheuttivat 34 prosenttia kyseisiä vikoja ja tuuli ja myrsky 13 prosenttia. Muiden sääolosuhteiden osuus jäi lähes merkityksettömäksi (1 %). Oikosulkujen aiheuttajista 29 prosenttia jäi tuntemattomiksi. Ulkopuolisten tekijöiden osuus oli 11 prosenttia ja rakennevikojen kuusi prosenttia. Puun kaadon, verkonhaltijan toiminnan ja eläinten ja lintujen osuus oikosulkuihin jäi hyvin pieniksi (n. 2 %).



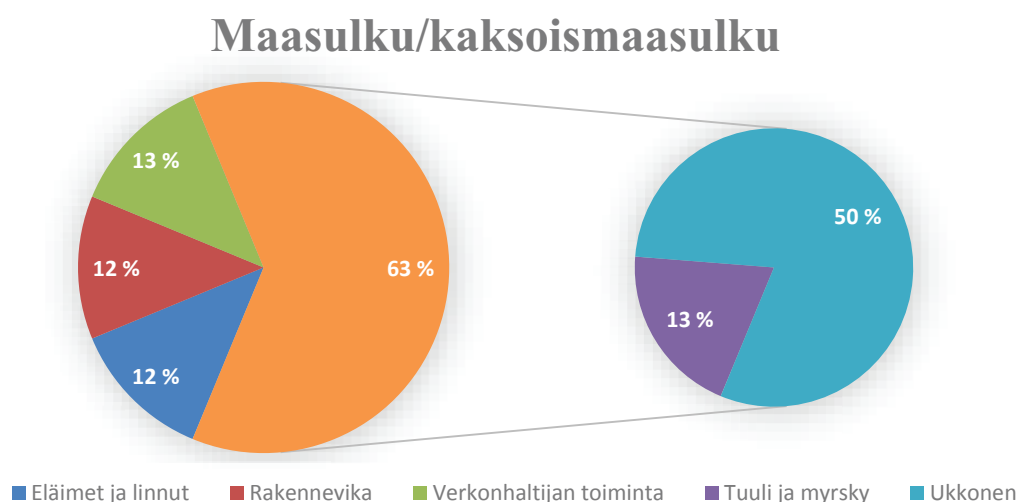
**Kuva 6.4.** Oikosulun aiheuttajat ja niiden prosentuaaliset osuudet Loiste Sähköverkon pienjännitteisessä ilmajohtoverkossa ajalta 2005 – 2014 (PJ-viat 2014).

Seuraavaksi yleisin vikatyyppe oli liitinviat. Niitä tapahtui kaiken kaikkiaan 96 kappaletta, eli vain noin neljä prosenttia kaikista ilmajohtoverkossa tapahtuneista vioista. Liitinviat aiheuttavat komponenttien tai laitteiden rikkoontumisia, nolla- ja vaihevikoja. Liitinviat voivat olla hyvin vaarallisia, sillä esimerkiksi nollavika voi saada aikaan tulipaloja. Seuraavalla sivulla olevassa kuvassa 6.5 on esitetty liitinvikojen aiheuttajia. Kyseisiä vikoja aiheuttivat eniten (n. 36 %) rakenneviat. Rakennevikoja ovat esimerkiksi huonot tai kuluneet liitokset. Lähes yhtä paljon liitinvikojen aiheuttivat rakennus- hoito- ja käyttövirheet (n. 34 %). Vian aiheuttajista noin 18 prosenttia jäi tuntemattomiksi. Luonnonilmiöiden osuus oli vain kuusi prosenttia. Kuvasta 6.5 voidaan nähdä myös, mitkä sääilmiöt aiheuttivat eniten liitinvikojen. Sekä lumi ja jää että ukkonen saivat aikaan liitinvikojen noin 33 prosenttia kaikista luonnonilmiöistä. Kyseisiä vikoja aiheuttivat vähiten tuuli ja myrsky sekä muut sääolosuhteet. Verkonhaltijan toiminta ja ylikuormitus vaikuttivat liitinvikoihin vain hyvin vähän (1 – 2 %).



**Kuva 6.5.** Liitinvikojen aiheuttajat ja niiden prosentuaaliset osuudet Loiste Sähköverkon pienjännitteisessä ilmajohtoverkossa ajalta 2005 – 2014 (PJ-viat 2014).

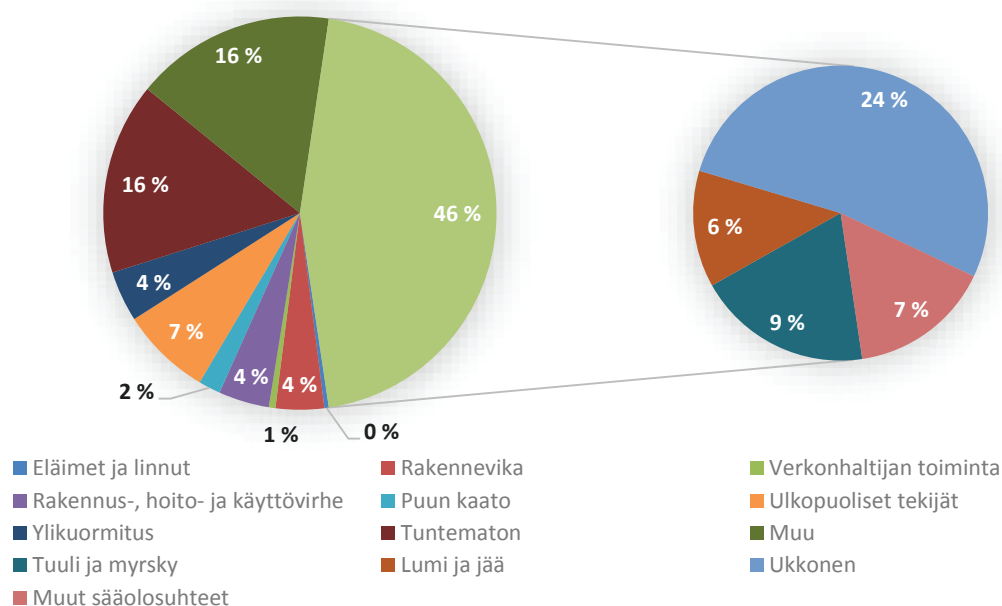
Tunnetuista ja määritellyistä vioista kaikkein vähiten vikoja aiheuttivat maa- ja kaksoismaasulut. Näitä tapahtui ainoastaan kahdeksan kappaletta vuosien 2005 – 2014 aikana ilmajohtoverkossa. Prosentteina tämä luku on vain 0,29 %. Kuten alla olevasta kuvasta 6.6 nähdään, suurin syy maa- ja kaksoismaasulkujen syntyyn oli luonnonilmiöt ja erityisesti ukkonen. Noin 63 prosenttia kyseisistä vioista aiheutui luonnonilmiöstä. Niistä jopa 80 prosenttia sai aikaan ukkonen. Maa- tai kaksoismaasulkuja aiheuttivat myös eläimet ja linnut, rakenneviat ja verkonhaltijan toiminta vaikuttivat maasulkuvikojen syntyyn. Näiden osuus kuitenkin jäi noin 12 prosenttiin.



**Kuva 6.6.** Maasulun tai kaksoismaasulun aiheuttajat ja niiden prosentuaaliset osuudet Loiste Sähköverkon pienjännitteisessä ilmajohtoverkossa ajalta 2005 – 2014 (PJ-viat 2014).

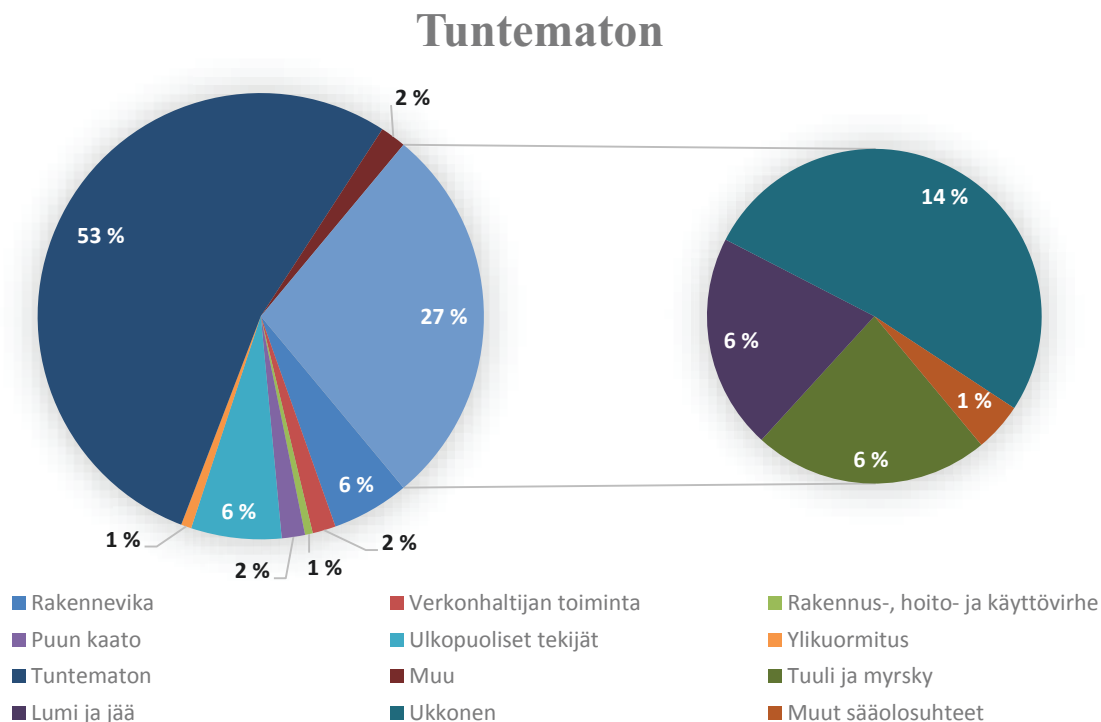
Muiden ja ei-määriteltujen vikojen osuus oli suurin. Tämän tyyppisiä vikoja esiintyi yhteensä 559 kappaletta. Prosentteina tämä luku on 24 % kaikista ilmajohtoverkossa tapahtuneista vioista. Kuvasta 6.7 nähdään, että eniten muita ja ei-määriteltyjä vikoja aiheuttivat luonnonilmiöt (n. 46 %). Kaikista luonnonilmiöistä reilu puolet (52 %) kyseisiä vikoja aiheutti ukkonen. Tuulen ja myrskyn, lumen ja jään sekä muiden sääolosuhteiden osuus jäi noin 13 – 19 %:iin. Tuntemattomat ja muut syyt aiheuttivat vikoja noin 16 prosenttia. Muiden, kuten ulkopuolisten tekijöiden ylikuormituksen, rakennus-, hoito- ja käyttövirheiden ja rakennevikojen osuus jäi noin 4 – 7 prosenttiin. Vähiten tämän tyyppisiä vikoja aiheuttivat puun kaato, verkonhaltijan toiminta sekä eläimet ja linnut (0 – 2 %).

### Muut ja ei-määritellyt viat



**Kuva 6.7.** Muiden ja ei-määriteltujen vikojen aiheuttajat ja niiden prosentuaaliset osuudet Loiste Sähköverkon pienjännitteisessä ilmajohtoverkossa ajalta 2005 – 2014 (PJ-viat 2014).

Tuntemattomia vikoja tapahtui yhteensä 534 kappaletta. Tämä vastaa 22 prosenttia kaikista ilmajohtoverkossa tapahtuneista vioista. Kuvassa 6.8 on havainnollistettu diagrammissa vian aiheuttajia. Kuvasta nähdään, että yli puolet (53 %) vian aiheuttajistakin jää tuntemattomiksi. Luonnonilmiöt ovat toinen merkittävä tekijä. Niiden osuus oli noin 27 prosenttia. Luonnonilmiöistä noin 51 % oli ukkosien aiheuttamia. Tuuli ja myrsky sekä lumi ja jää aiheuttivat noin 22 prosenttia luonnonilmiöiden aiheuttamista tuntemattomista vioista. Muiden sääolosuhteiden osuus jäi hyvin pieneksi (n. 5 % luonnonilmiöistä).

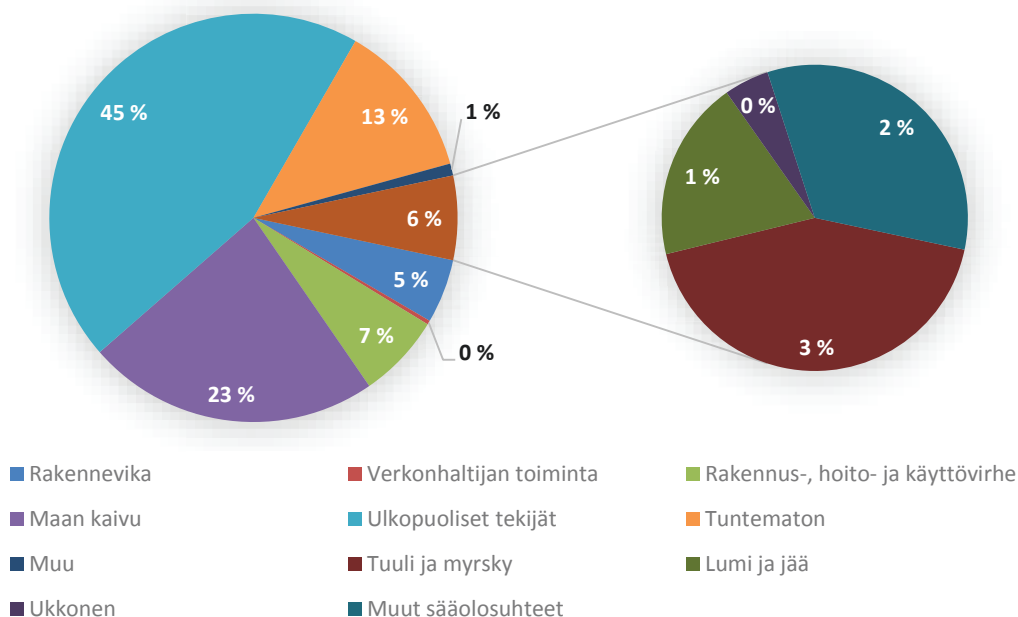


**Kuva 6.8.** Tuntemattomien vikojen aiheuttajat ja niiden prosentuaaliset osuudet Loiste Sähköverkon pienjännitteisessä ilmajohtoverkossa ajalta 2005 – 2014 (PJ-viat 2014).

### 6.1.2 Vikatyypit ja niiden aiheuttajat kaapeliverkossa

Loiste-verkkoyhtiöltä saatujen tilastojen mukaan vuosien 2005 – 2014 aikana kaapeliverkossa sattui vikoja melkein puolet vähemmän kuin ilmajohtoverkossa (1 166 kpl). Eniten vikoja aiheuttivat poikki menneet kaapelit. Aiemmin tässä työssä esitetystä kuvasta 3.4 (ks. sivu 14) nähdään, että kaapelikatkokkien osuus kaikista kaapeliverkkojen vioista oli noin 27 %. Lukumääränä tämä vastaa 315 poikki mennyttä kaapelia. Yleisimmät syyt tähän olivat ulkopuoliset tekijät (45 %) ja maan kaivu (23 %), kuten kuvasta 6.9 (ks. seuraava sivu) voidaan nähdä. Ulkopuolisiin tekijöihin liittyi muun muassa ulkopuolisten maan kaivu, joten yksittäisenä tekijänä se vaikutti eniten maakaapeleiden poikkimenemiseen. Noin 13 prosenttia tämän tyyppisistä vioista jäi tuntemattomiksi. Rakenneviat, luonnonilmiöt ja rakennus-, hoito- ja käyttövirheet aiheuttivat kaapelikatkoksia melko vähän (5 – 7 %). Verkonhaltijan toiminnan vaikutus oli lähes merkityksetön.

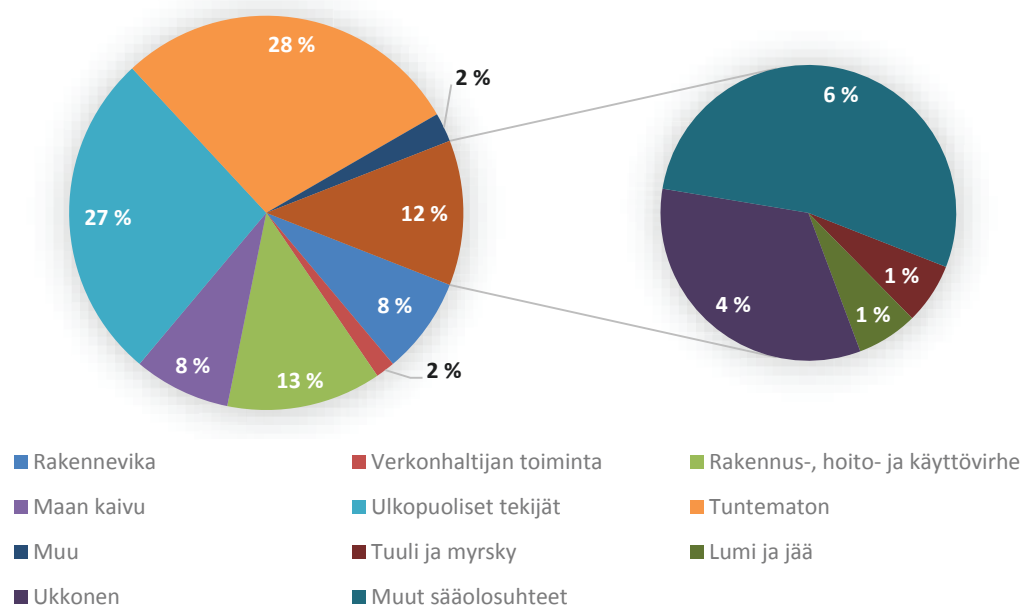
## Kaapeli poikki



**Kuva 6.9.** Prosentuaaliset osuudet aiheuttajista, joiden vuoksi kaapeli on mennyt poikki Loiste Sähköverkon pienjännitteisessä kaapeliverkossa ajalta 2005 – 2014 (PJ-viat 2014).

Tunnetuista ja määritellyistä vikatyypeistä toiseksi yleisin kaapeliverkossa tutkimusaikana oli yhdessä olevat johtimet. Tämän tyyppisiä vikoja tapahtui kaiken kaikkiaan 126 kappaletta, mikä on prosentteina 11 % kaikista Loiste Sähköverkko Oy:n kaapeliverkossa tapahtuneista vioista. Vikojen aiheuttajat on esitetty seuraava sivulla olevassa kuvassa 6.10. Suurin osa (n. 28 %) kyseisen vikatyypin aiheuttajista jäi tuntemattomiksi, ja noin 27 prosenttia oli ulkopuolisten tekijöiden aikaansaamia. Luonnonilmiöt sekä rakennus-, hoito- ja käyttövirheet aiheuttivat johtimien pääsyn kosketuksiin noin 12 – 13 %. Huomioitavaa on se, että ukkonen aiheutti kyseisistä vioista yhteensä noin neljä prosenttia. Rakenneviat sekä maan kaivu olivat syynä vikojen syntyyn vain melko vähän (8 %). Vähiten (2 %) kyseistä vikatyypistä aiheutti verkonhaltijan toiminta.

## Johtimet yhdessä

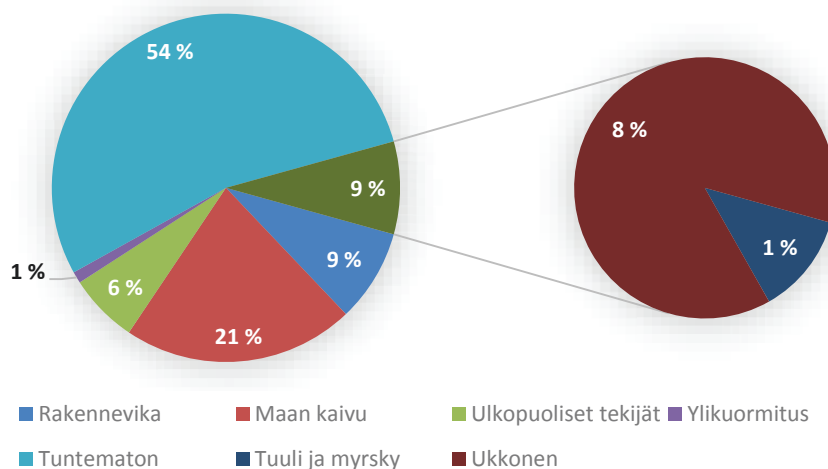


**Kuva 6.10.** Prosentuaaliset osuudet aiheuttajista, joiden vuoksi johtimet ovat päässeet kosketuksiin Loiste Sähköverkon pienjännitteisessä kaapeliverkossa ajalta 2005 – 2014 (PJ-viat 2014).

Oikosulku oli yhdessä olevien johtimien jälkeen seuraavaksi yleisin vikatyypiksi. Näitä vikoja tapahtui yhteensä 93 kappaletta, mikä vastaa kahdeksaa prosenttia kaikista kaapeliverkon vioista. Kuvassa 6.11 (ks. seuraava sivu) on havainnollistettu oikosulkujen aiheuttajia ja niiden prosentuaalisia osuuksia. Kuten kuvasta huomataan, yli puolet (n. 54 %) oikosulun aiheuttajista jäi tuntemattomiksi. Suurin tunnettu syy tämän tyyppisiin vikoihin oli maan kaivu. Jopa 21 prosenttia vioista selittyi juuri tällä. Seuraavaksi yleisimmät oikosulkujen aiheuttajat kaapeliverkossa olivat rakenneviat ja luonnonilmiöt (n. 9 %). Kuvasta 6.11 havaitaan, että ukkosen osuus kaikista tapahtuneista oikosuluista oli kahdeksan prosenttia. Tämä osuus kaikista luonnonilmiöiden aiheuttamista oikosuluista kaapeliverkossa on 88 prosenttia. Noin kuusi prosenttia tämän tyyppisistä vioista aiheutui ulkopuolisista tekijöistä. Ylikuormituskin oli eräs tekijä, mutta sen osuus jäi hyvin pieneksi (1 %).



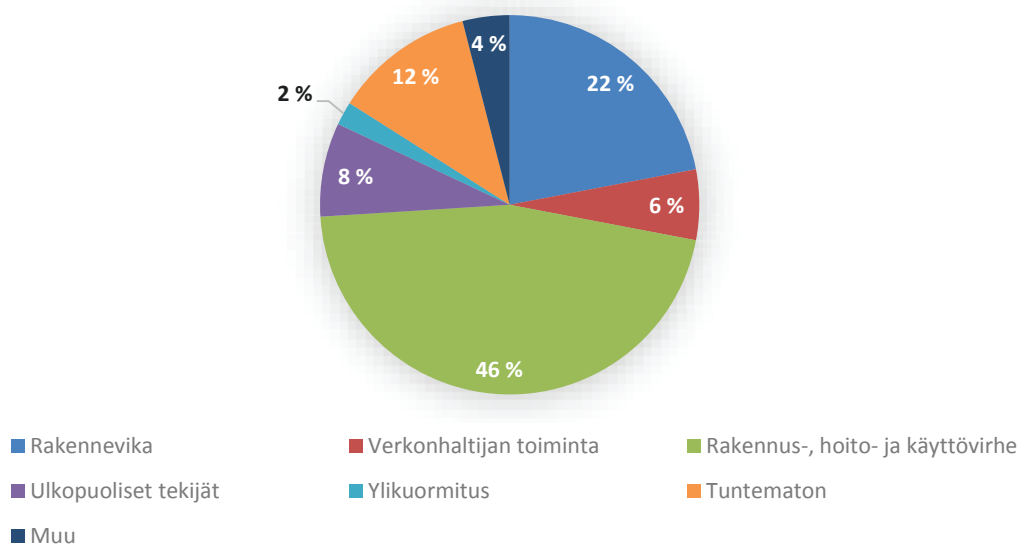
## Oikosulku



**Kuva 6.11.** Oikosulun aiheuttajat ja niiden prosentuaaliset osuudet Loiste Sähköverkon pienjännitteisessä kaapeliverkossa ajalta 2005 – 2014 (PJ-viat 2014).

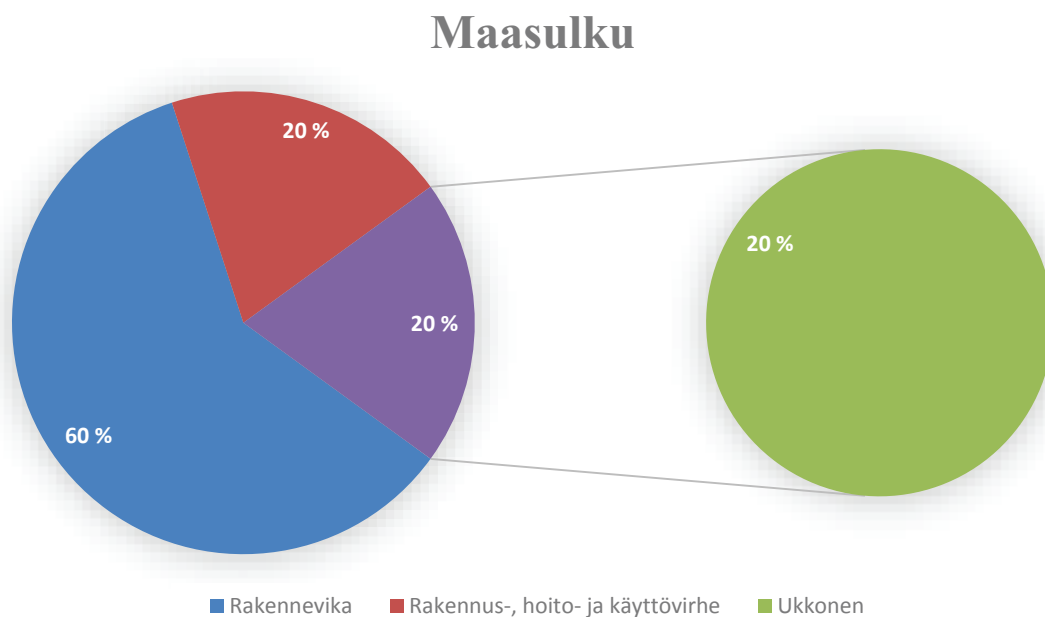
Liitinvikojen määrä kaapeliverkon vioista oli 50 kappaletta. Tämä määrä tarkoittaa neljää prosenttia kaikista kaapeliverkossa tapahtuneista vioista. Vian aiheuttajista on havainnollistettu diagrammi alla olevassa kuvassa 6.12. Suurin osa, lähes puolet, liitinvioista aiheutuivat rakennus-, hoito- ja käyttövirheistä. Rakennevikojen osuus oli seuraavaksi yleisin (22 %). Tuntemattomia liitinvikojen aiheuttajia oli 12 prosenttia. Verkonhaltijan toiminta sekä ulkopuoliset tekijät vaikuttivat kyseisiin vikoihin 6 – 8 %. Ylikuormituksen osuus jäi kahteen prosenttiin.

## Liitinvika



**Kuva 6.12.** Liitinvikojen aiheuttajat ja niiden prosentuaaliset osuudet Loiste Sähköverkon pienjännitteisessä kaapeliverkossa ajalta 2005 – 2014 (PJ-viat 2014).

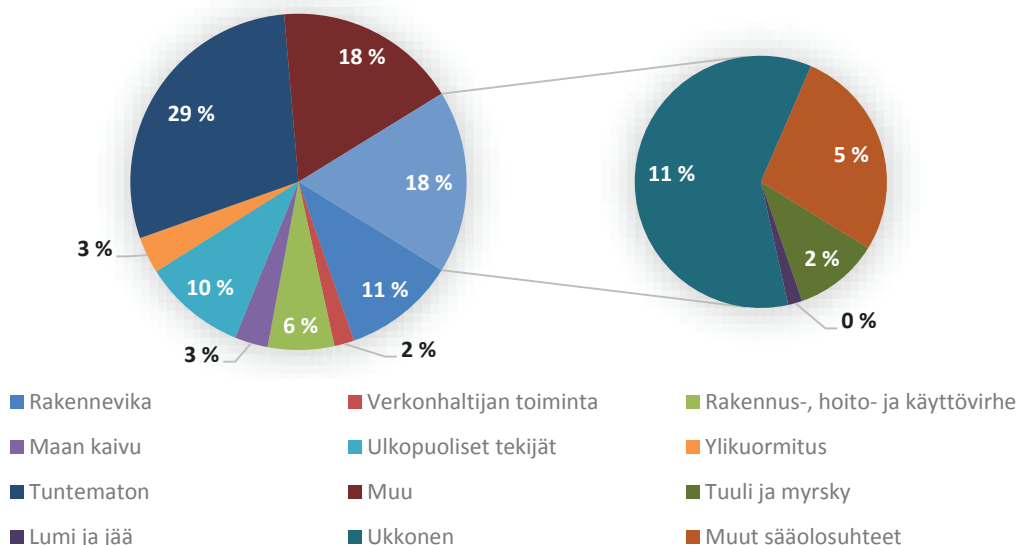
Maasulkuvikoja tapahtui kaapeliverkossa hyvin vähän, vain viisi kappaletta vuosien 2005 – 2014 aikana. Prosentteina tämä luku on 0,43 %. Kuvassa 6.13 alla on esitetty maasulkuvikojen aiheuttajia ja niiden prosentuaalisia osuuksia. Kuten kuvasta huomataan, rakenneviat aiheuttivat eniten (60 %) kyseisiä vikoja. Muita vianaiheuttajia olivat rakennus-, hoito- ja käyttövirheet sekä luonnonilmiöt. Näiden kunkin osuus oli 20 prosenttia. Kuvasta 6.13 nähdään myös se, että luonnonilmiöistä vain ukkonen aiheutti maasulkuja kaapeliverkossa.



**Kuva 6.13.** Maasulun aiheuttajat ja niiden prosentuaaliset osuudet Loiste Sähköverkon pienjännitteisessä kaapeliverkossa ajalta 2005 – 2014 (PJ-viat 2014).

Muiden ja ei-määriteltyjen vikojen osuus Loiste Sähköverkon kaapeliverkossa oli samaa luokkaa kuin poikki menneiden kaapeleiden. Tämä tarkoittaa lukumäärissä 313 kappaletta muita ja ei-määriteltyjä vikoja. Prosentteina tämä vastaa 27 prosenttia. Kuvassa 6.14 (ks. seuraava sivu) on esitetty, mitkä tekijät aiheuttivat näitä vikoja. Niitä aiheuttivat luonnonilmiöt, rakenneviat, verkonhaltijan toiminta, rakennus-, hoito- ja käyttövirheet, maan kaivu, ulkopuoliset tekijät ja ylikuormitus. Kuitenkin 29 prosenttia tämän tyyppisistä vioista jäi tuntemattomiksi. Edellä mainituista vikojen aiheuttajista luonnonilmiöt (18 %), etenkin ukkonen (11 %), sai aikaan eniten muita ja ei-määriteltyjä vikoja. Myös rakennevikojen osuus oli 11 prosenttia. Muiden aiheuttajien osuudet jäivät melko vähäisiksi, noin 2 – 3 prosenttiin.

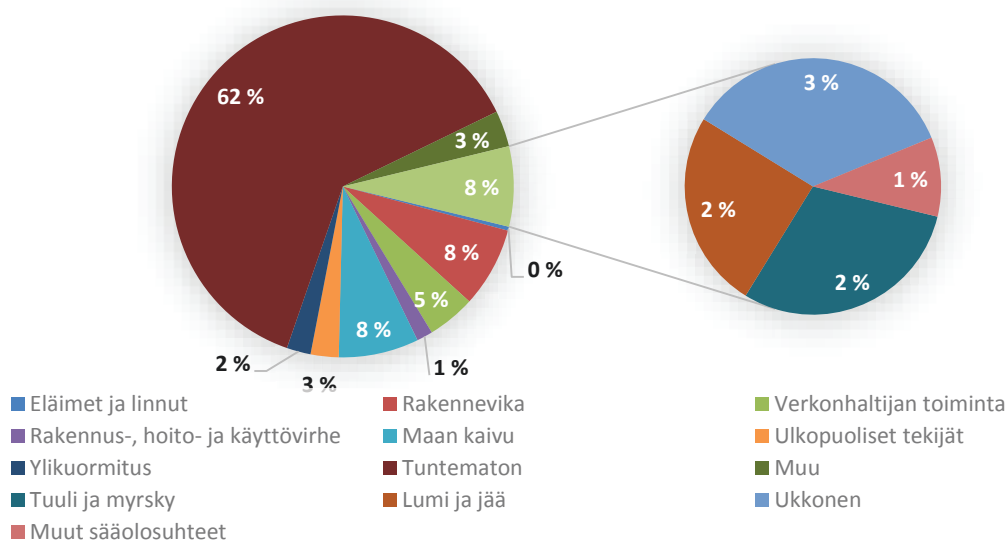
## Muut ja ei-määritellyt viat



**Kuva 6.14.** Muiden ja ei-määriteltyjen vikojen aiheuttajat ja niiden prosentuaaliset osuudet Loiste Sähköverkon pienjännitteisessä kaapeliverkossa ajalta 2005 – 2014 (PJ-viat 2014).

Myös tuntemattomien vikojen osuus kaapeliverkossa oli merkittävä. Niitä tapahtui yhteensä 264 kappaletta. Prosentteina tämä luku on 23 prosenttia. Tuntemattomien vikojen aiheuttajia on esitetty kuvassa 6.15. Tästä nähdään, että tuntemattomien vikojen aiheuttajista jopa 62 prosenttia jäi tuntemattomiksi. Tunnetuista vikojen aiheuttajista yleisimmät olivat rakenneviat, luonnonilmiöt ja maan kaivu (8 %). Luonnonilmiöstä ukkosen, tuulen ja myrskyn sekä lumen ja jään osuus olivat lähes tasaiset. Muiden tuntemattomien vikojen aiheuttajien osuudet jäivät pieniksi (n. 0 – 5 %).

## Tuntematon



**Kuva 6.15.** Tuntemattomien vikojen aiheuttajat ja niiden prosentuaaliset osuudet Loiste Sähköverkon pienjännitteisessä kaapeliverkossa ajalta 2005 – 2014 (PJ-viat 2014).

Tämän alaluvun yhteenvedona taulukoissa 6.1 ja 6.2 on esitetty Loiste Sähköverkon pienjänniteverkossa tapahtuneiden vikojen lukumäärät ilmajohto- ja kaapeliverkossa. Viat ovat tapahtuneet vuosien 2005 – 2014 aikana. Taulukossa 6.1 vikojen lukumäärät on ilmoitettu vikatyypeittäin ja taulukossa 6.2 vian aiheuttajittain. Taulukon 6.1 lopussa on myös kerrottu vikojen lukumäärät yhteensä kummassakin verkkotyypissä. Ilmajohtoverkossa vikoja tapahtui kaiken kaikkiaan 2 396 kappaletta ja kaapeliverkossa 1 166 kappaletta. Toisin sanoen kaapeliverkon vikoja oli noin puolet vähemmän kuin ilmajohtoverkon.

**Taulukko 6.1.** Loiste Sähköverkon pienjänniteverkon vikojen lukumäärät ilmajohto- ja kaapeliverkossa vuosien 2005 – 2014 aikana (PJ-viat 2014).

<b>Vikatyyppe</b>	<b>Ilmajohtoverkko</b>	<b>Kaapeliverkko</b>
Johdin/kaapeli poikki	557	315
Johtimet yhdessä	378	126
Oikosulku	264	93
Maasulku/kaksoismaasulku	8	5
Liitinvika	96	50
Tuntematon	534	264
Muut ja ei-määritellyt viat	559	313
<b>Yhteensä</b>	<b>2396</b>	<b>1166</b>

**Taulukko 6.2.** Loiste Sähköverkon pienjänniteverkossa eri vian aiheuttajien aiheuttamien vikojen lukumäärät ilmajohto- ja kaapeliverkossa (PJ-viat 2014).

<b>Vian aiheuttaja</b>	<b>Ilmajohtoverkko</b>	<b>Kaapeliverkko</b>
Luonnonvoimat	881	115
Eläimet ja linnut	10	1
Rakennevika	139	100
Verkonhaltijan toiminta	28	24
Rakennus-, hoito- ja käyttövirhe	132	84
Puun kaato / Maan kaivu	57	132
Ulkopuoliset	419	216
Ylikuormitus	28	19
Tuntematon	549	380
Ei-määritelty	114	70

### 6.1.3 Vikojen kestojen vertailua ilmajohto- ja kaapeliverkossa

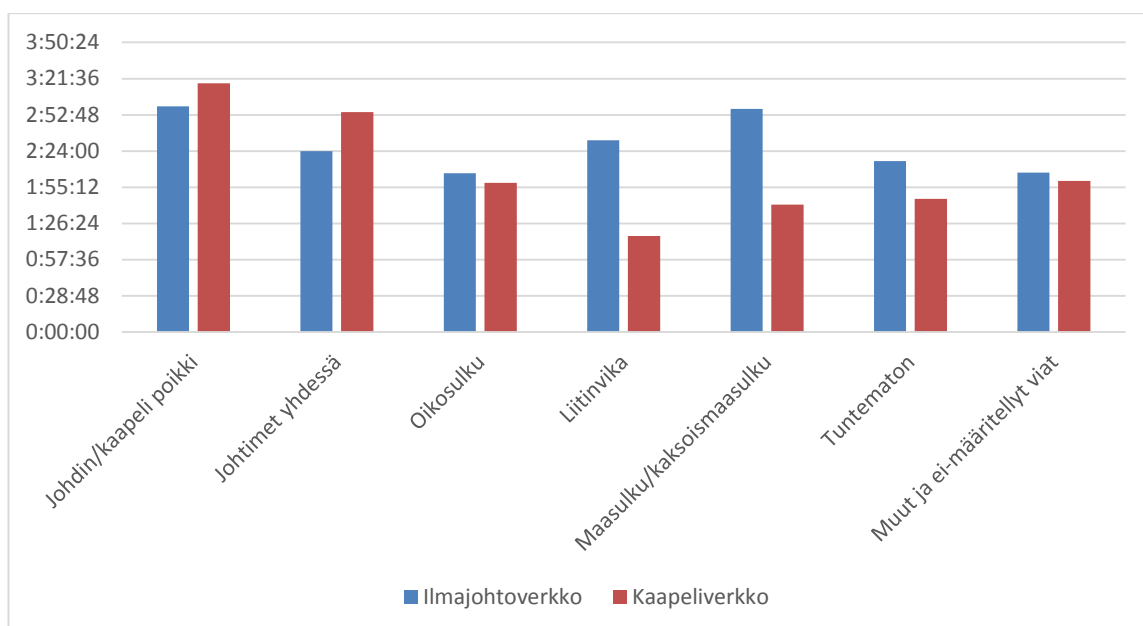
Tässä alaluvussa tarkastellaan Loiste-verkkoyhtiöltä saatujen pienjänniteverkon vikojen kestoja ilmajohto- ja kaapeliverkossa. Vikojen kestoajkoja verrataan näissä kahdessa verkkotyypissä eri vikatyypeittäin ja vikojen aiheuttajittain.

Alla on esitetty taulukko 6.3, josta nähdään kunkin vikatyypin aiheuttama vian kestoajka sekä ilmajohto- että kaapeliverkossa. Taulukon lopussa on esitetty vian kestoista keskiarvot kummassakin verkkotyypissä. Ilmajohtoverkon keskimääräiseksi vian kestoajaksi saatiin kaksi tuntia 42 minuuttia ja 50 sekuntia. Kaapeliverkon keskimääräinen vian kestoajka puolestaan oli kaksi tuntia 22 minuuttia ja seitsemän sekuntia. Taulukosta huomataan myös, että joissakin vikatyypeissä vian kestoajka oli pidempi kaapeliverkossa kuin ilmajohtoverkossa. Näitä olivat poikki menneet johtimet/kaapelit ja yhdessä olevat johtimet. Muissa vikatyypeissä ilmajohtoverkossa vika kesti kauemmin.

**Taulukko 6.3.** *Loiste Sähköverkon pienjänniteverkon vikojen kestot ilmajohto- ja kaapeliverkossa (PJ-viat 2014).*

Vikatyyppi	Ilmajohtoverkko	Kaapeliverkko
Johdin/kaapeli poikki	2:59:32	3:17:54
Johtimet yhdessä	2:24:01	2:55:05
Oikosulku	2:06:25	1:58:45
Maasulku/kaksoismaasulku	2:57:30	1:41:18
Liitinvika	2:32:41	1:16:30
Tuntematon	2:16:06	1:45:50
Muut ja ei-määritellyt viat	2:06:56	2:00:18
<b>Keskiarvo</b>	<b>2:42:50</b>	<b>2:22:07</b>

Kuvassa 6.16 (ks. seuraava sivu) on puolestaan esitetty taulukon 6.3 tiedot pylväsdiagrammina, josta nähdään helposti ilmajohto- ja kaapeliverkon vian kestot eri vikatyypeittäin. Kuvasta voidaan nähdä myös nopeasti esimerkiksi, missä vikatyypissä kestoajat olivat lyhimät ja missä pisimmät. Esimerkiksi liitinvikojen keskimääräinen kestoajka oli kaapeliverkossa lyhin. Pisin kestoajka kaapeliverkossa puolestaan oli poikki menneillä kaapeleilla. Ilmajohtoverkossa lyhin vian kesto oli oikosuluissa ja pisin johdinkatkoksissa.



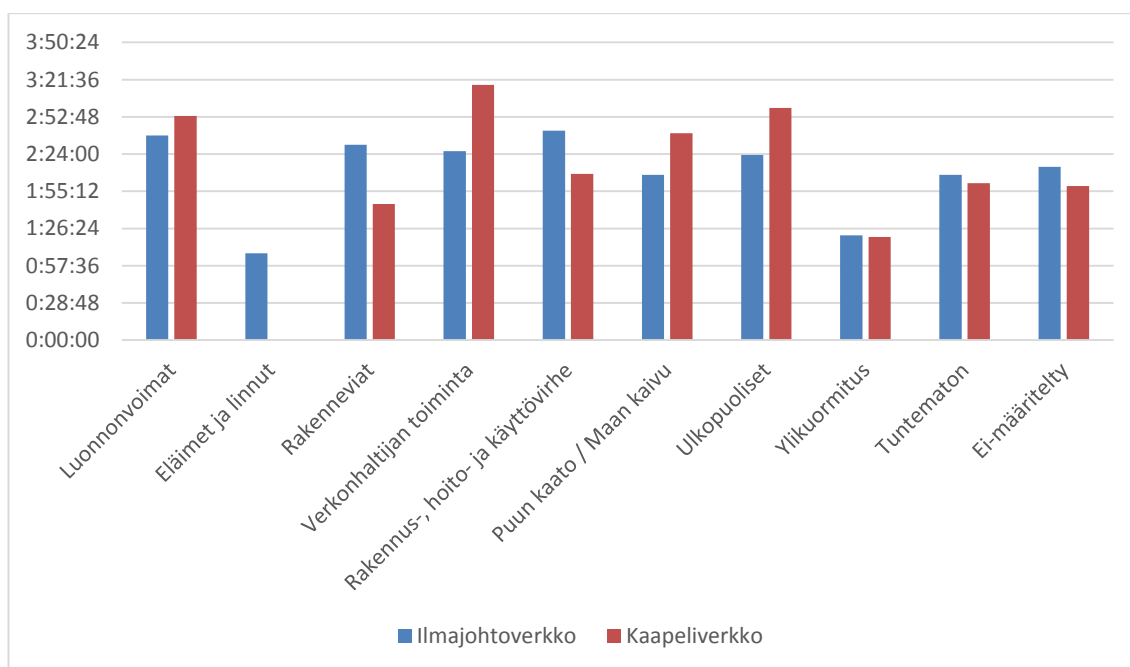
**Kuva 6.16.** Loiste Sähköverkon pienjänniteverkon ilmajohto- ja kaapeliverkossa tapahtuneiden vikojen kestoja (PJ-viat 2014).

Taulukossa 6.4 alla on esitetty Loiste Sähköverkon pienjänniteverkon vikojen kestoajat eri verkkotyypeissä vikojen aiheuttajittain. Taulukosta nähdään keskimääräiset vian kestot jokaisesta tekijästä, joka on aiheuttanut vikoja verkkoon.

**Taulukko 6.4.** Loiste Sähköverkon pienjänniteverkon vikojen kestot eri vian aiheuttajilla ilmajohto- ja kaapeliverkossa (PJ-viat 2014).

Vian aiheuttaja	Ilmajohtoverkko	Kaapeliverkko
Luonnonvoimat	2:38:25	2:53:31
Eläimet ja linnut	1:07:14	0:00:00
Rakennevika	2:31:11	1:45:23
Verkonhaltijan toiminta	2:26:21	3:17:30
Rakennus-, hoito- ja käyttövirhe	2:42:02	2:08:37
Puun kaato / Maan kaivu	2:07:54	2:40:04
Ulkopuoliset	2:23:21	2:59:43
Ylikuormitus	1:21:06	1:19:53
Tuntematon	2:07:59	2:01:32
Ei-määritelty	2:14:13	1:59:23

Taulukon 6.4 tiedot on myös havainnollistettu seuraavalla sivulla olevassa kuvassa 6.17. Tästä nähdään helposti ja nopeasti vikojen kestojen suuruusluokat. Kuvasta 6.17 huomataan, että esimerkiksi eläinten ja lintujen aiheuttamat viat maakaapeliverkossa eivät aiheuttaneet minkäänlaista vian kestoa. Ilmajohtoverkossa eläimet ja linnut aiheuttivat keskimäärin reilun tunnin mittaisen vian.



**Kuva 6.17.** Loiste Sähköverkon pienjänniteverkon ilmajohto- ja kaapeliverkossa eri vian aiheuttajien aiheuttamien vikojen kestot (PJ-viat 2014).

Sekä taulukosta 6.4 ja kuvasta 6.17 voidaan sanoa, mitkä vikojen aiheuttajat aiheuttivat keskimäärin pidemmät vian kestot kaapeliverkossa kuin ilmajohtoverkossa. Näitä olivat luonnonvoimat, verkonhaltijan toiminta, puun kaato/maan kaivu sekä ulkopuoliset tekijät.

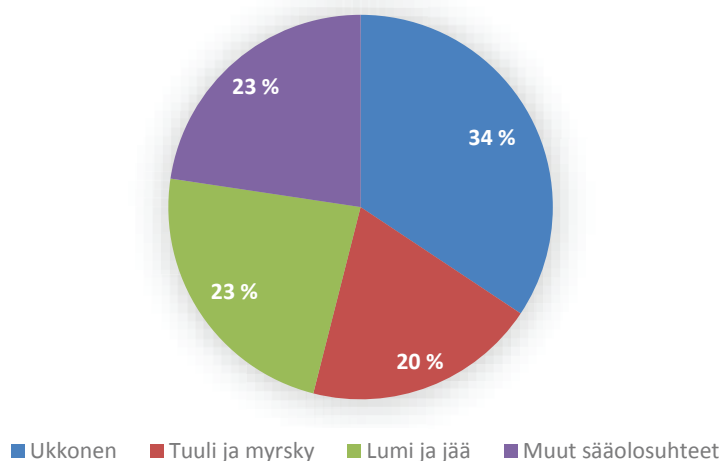
#### 6.1.4 Luonnonilmiöiden vaikutus

Luonnonilmiöt vaikuttavat erilaisesti ilmajohto- ja kaapeliverkkoon. Taulukossa 6.5 on ilmoitettu luonnonilmiöiden vaikutus prosentteina kumpaankin verkkotyyppiin. Luonnonilmiöistä noin 37 prosenttia aiheuttivat ilmajohtoverkossa tapahtuneista vioista tutkimuksen aikana. Vastaava osuus kaapeliverkossa oli noin 10 prosenttia. Lukumäärinä luonnonilmiöiden aiheuttamia vikoja vuosien 2005 – 2014 aikana ilmajohtoverkossa oli 897 kappaletta ja kaapeliverkossa 120 kappaletta. Tämä tarkoittaa sitä, että ilmajohtoverkossa tapahtui noin 87 prosenttia enemmän luonnonilmiöiden aiheuttamia vikoja kuin kaapeliverkossa.

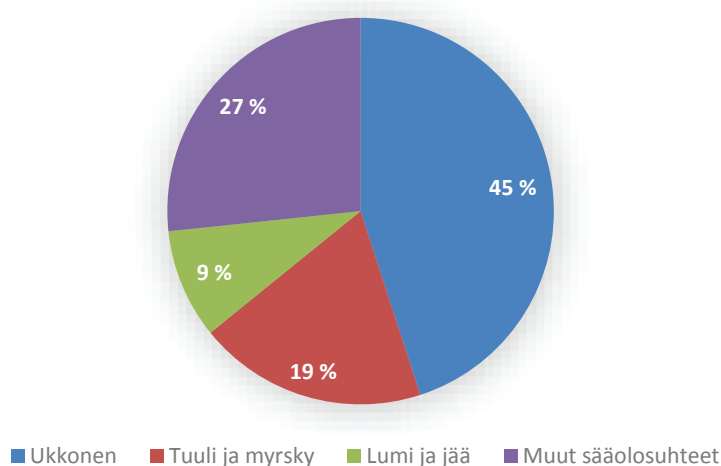
**Taulukko 6.5.** Luonnonilmiöiden vaikutus pienjänniteverkon vikoihin eri verkkotyypeillä (PJ-viat 2014).

Verkkotyyppi	Luonnonilmiöiden vaikutus vikoihin [%]
Ilmajohtoverkko	37,44
Kaapeliverkko	10,30

Kuvissa 6.18 ja 6.19 on puolestaan esitetty diagrammeina, mitkä luonnonilmiöt aiheuttivat vikoja verkkoihin. Samalla nähdään myös näiden ilmiöiden prosentuaaliset osuudet vikoihin. Kummassakin verkkotyypissä ukkonen aiheutti eniten vikoja. Sekä ilmajohto- että kaapeliverkossa ukkonen rikkoi muun muassa mittareita ja sulakkeita. Ilmajohtoverkossa ukkonen aiheutti myös esimerkiksi puiden kaatumisia johdoille, mikä puolestaan aiheutti johdinkatkoksia.



**Kuva 6.18.** Eri luonnonilmiöiden osuus ilmajohtoverkossa tapahtuviin vikoihin (PJ-viat 2014).

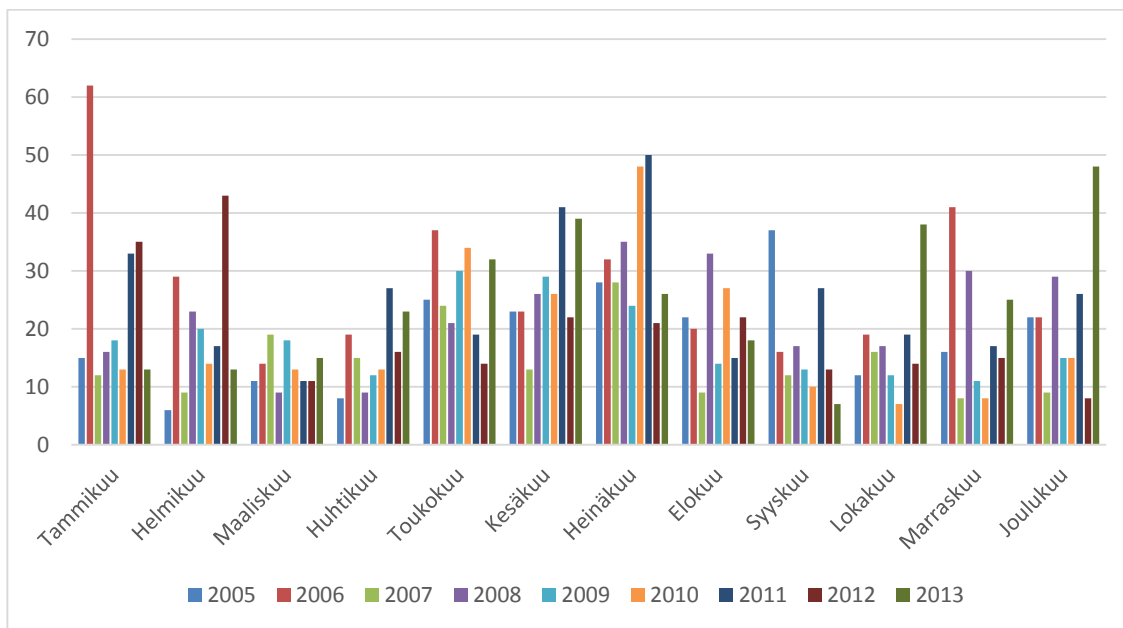


**Kuva 6.19.** Eri luonnonilmiöiden osuus kaapeliverkossa tapahtuviin vikoihin (PJ-viat 2014).

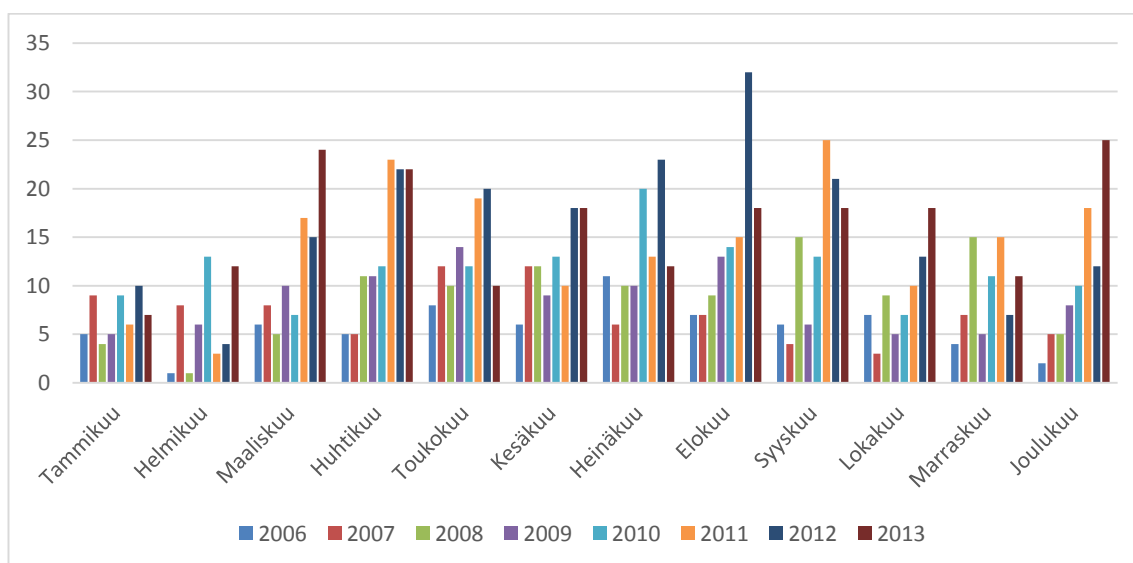


### 6.1.5 Viat kuukausitasolla

Ukkoset aiheuttavat toukokuusta elokuuhun suurimman osan vioista ilmajohtoverkkoon. Tämän voi nähdä kuvasta 6.20. Tästä huomataan selvästi vikojen määrän kasvu kesäkuukausina verrattuna esimerkiksi kevääseen ja syksyyn. Talvikuukausina puolestaan lumen ja jään vaikutus vikoihin voidaan nähdä tästä kuvasta. Kuvasta 6.21 nähdään puolestaan vikojen määrät kuukausitasolla pienjännitteisessä kaapeliverkossa vuosien 2005 – 2013 aikana.



**Kuva 6.20.** Ilmajohtoverkossa tapahtuneet viat kuukausittain vuosilta 2005 – 2013 (PJ-viat 2014).



**Kuva 6.21.** Kaapeliverkossa tapahtuneet viat kuukausittain vuosilta 2006 – 2013 (PJ-viat 2014).

### 6.1.6 Vikataajuudet

Vikataajuuden avulla voidaan yleisesti kuvata verkkotyyppin vikaantumisalttiutta. Siinä esitetään vikojen lukumäärä tiettyä johtopituutta kohti tietyllä aikavälillä. Tässä tapauksessa vikataajuus on vikojen määrä 100 km:ä kohti vuodessa. Alla olevasta taulukosta 6.6 nähdään ilmajohto- ja kaapeliverkon johtopituudet vuosilta 2005 – 2013. Johtopituuksien ja kuvassa 6.22 esitettyjen vikojen lukumäärien avulla voidaan määrittää vikataajuudet verkkotyypeittäin joka vuodelle.

**Taulukko 6.6.** Loiste Sähköverkon pienjänniteverkon johtopituudet ilmajohto- ja kaapeliverkossa (Energiavirasto 2015; Niskanen 2015).

	Ilmajohto [km]	Kaapeli [km]
<b>2005</b>	3973	1090
<b>2006</b>	3865	1218
<b>2007</b>	3766	1447
<b>2008</b>	3678	1451
<b>2009</b>	3575	1705
<b>2010</b>	3532	1804
<b>2011</b>	3486	1901
<b>2012</b>	3454	2011
<b>2013</b>	3381	2148

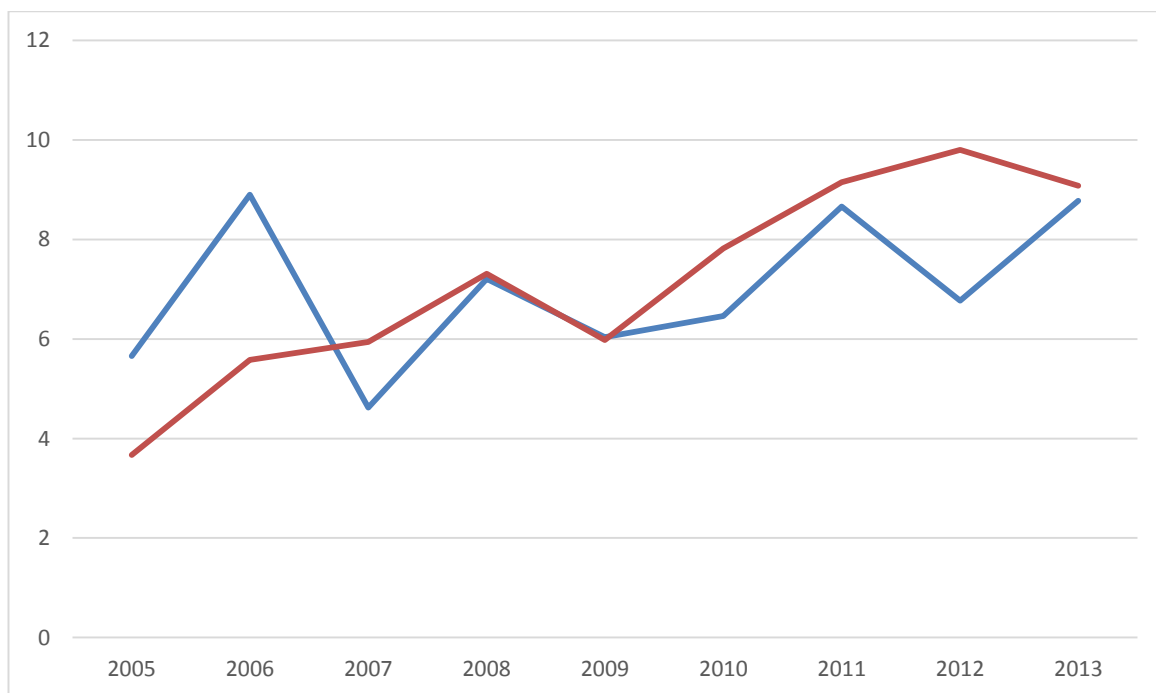


**Kuva 6.22.** Loiste Sähköverkon pienjännitteisissä ilmajohto- ja kaapeliverkossa tapahtuneiden vikojen lukumäärät vuosittain vuosilta 2005 – 2013 (PJ-viat 2014).

Taulukosta 6.7 nähdään lasketut vikataajuudet kummassakin verkkotyyppissä vuosittain. Taulukon lopussa on määritetty 2005 – 2014 vuosien keskimääräiset vikataajuudet. Ilmajohtoverkossa tämä luku on 7,01 ja kaapeliverkossa 7,15. Kaapeliverkon vikataajuus on siis noin kaksi prosenttia suurempi kuin ilmajohtoverkon. Taulukosta 6.7 huomataan myös, että kaapeliverkon vikataajuus on kasvanut lähes vuosittain, varsinkin vuoden 2009 jälkeen. Tämän voi nähdä selvästi myös kuvasta 6.23, jossa on esitetty käyrästä vikataajuuksista.

**Taulukko 6.7.** Loiste Sähköverkon pienjänniteverkon vikataajuudet vuosittain ilmajohto- ja kaapeliverkossa (Energiavirasto 2015).

	Ilmajohto [vikaa/100 km]	Kaapeli [vikaa/100 km]
<b>2005</b>	5,66	3,67
<b>2006</b>	8,90	5,58
<b>2007</b>	4,62	5,94
<b>2008</b>	7,21	7,31
<b>2009</b>	6,04	5,98
<b>2010</b>	6,46	7,82
<b>2011</b>	8,66	9,15
<b>2012</b>	6,77	9,80
<b>2013</b>	8,78	9,08
<b>KA</b>	<b>7,01</b>	<b>7,15</b>



**Kuva 6.23.** Loiste Sähköverkon pienjänniteverkon vikataajuudet ilmajohto- ja kaapeliverkossa (Energiavirasto 2015; PJ-viat 2014).

## 6.2 Loiste Sähköverkon keski- ja pienjänniteverkon vikojen vertailu

Tässä alaluvussa verrataan pien- ja keskijänniteverkon vikoja ja niiden aiheuttamia asiakaskertoja ja -tunteja. Asiakaskerralla tarkoitetaan sitä, että yhden keskeytyskokonaisuuden kokevat käyttöpaikat saavat keskeytyskokonaisuudesta yhden asiakaskertamerkinnän. Keskeytyskokonaisuus puolestaan tarkoittaa esimerkiksi yksittäiseen vikakeskeytykseen liittyviä tapahtumia, joihin usein liittyy useampia, toisistaan riippumattomia keskeytysjaksoja, jotka johtuvat vian korjauksen etenemisestä. (Niskanen 2014) Tässä alaluvussa analysoidaan erikseen vikakeskeytyksiä ja suunniteltujen keskeytyksiä. Samalla otetaan myös huomioon suunnitellut keskeytykset, jotka ovat aiheuttaneet jakelun keskeytyksiä sekä ne, jotka eivät ole aiheuttaneet keskeytyksiä.

Alla olevassa taulukossa 6.8 on Loiste Sähköverkon vikakeskeytysten, suunniteltujen keskeytysten ja jakelun keskeytystä aiheuttamattomat suunnitellut keskeytysten lukumäärät pienjännite- ja keskijänniteverkossa vuodelta 2013. Kuten taulukosta huomataan, PJ-verkossa on ilmennyt enemmän vikakeskeytyksiä kuin KJ-verkossa. Puolestaan suunniteltujen keskeytysten määrä on keskijännitepuolella huomattavasti suurempi.

**Taulukko 6.8.** Loiste Sähköverkon vikojen vertailu pienjännite- ja keskijänniteverkkojen vioista vuodelta 2013 (Loiste 2015).

2013	PJ-verkko	KJ-verkko
<b>Vikakeskeytykset [kpl]</b>	582	566
<b>Suunnitellut keskeytykset [kpl]</b>	59	946
<b>Suunnitellut keskeytykset, ei jakelun keskeytystä [kpl]</b>	3	120

Taulukossa 6.9 on puolestaan esitetty yllä olevan taulukon tiedot vuodelta 2014. Alla olevasta taulukosta voidaan huomata, että vikakeskeytysten määrä on laskenut edellisestä vuodesta, mutta KJ-verkon puolella on tapahtunut vikakeskeytyksiä PJ-verkkoa enemmän. Suunniteltujen keskeytysten määrä on kutakuinkin pysynyt 2013 vuoden lukemissa.

**Taulukko 6.9.** Loiste Sähköverkon vikojen vertailu pienjännite- ja keskijänniteverkkojen vioista vuodelta 2014 (Loiste 2015).

2014	PJ-verkko	KJ-verkko
<b>Vikakeskeytykset [kpl]</b>	415	465
<b>Suunnitellut keskeytykset [kpl]</b>	78	957
<b>Suunnitellut keskeytykset, ei jakelun keskeytystä [kpl]</b>	3	151

Alla on esitetty taulukot 6.10 ja 6.11. Niissä on kerrottu Loiste Sähköverkon pienjännite- ja keskijänniteverkossa esiintyneiden vikakeskeytysten ja suunniteltujen keskeytysten aiheuttamat asiakaskerrat ja -tunnit. Taulukoista voidaan todeta, että keskijänniteverkon puolella esiintyy sekä vikakeskeytysten että suunniteltujen keskeytysten aiheuttamia asiakaskertoja noin 98 prosenttia kaikista asiakaskerroista. Asiakastuntienkin osuus on samaa luokkaa.

**Taulukko 6.10.** Loiste Sähköverkon vikojen asiakaskertojen ja -tuntien vertailu pienjännite- ja keskijänniteverkkojen vioista vuodelta 2013 (Loiste 2015).

<b>2013</b>	<b>PJ-verkko</b>	<b>KJ-verkko</b>
<b>Vikakeskeytykset, asiakaskerrat [kpl]</b>	2 057	150 077
<b>Vikakeskeytykset, asiakastunnit [h]</b>	5 130,1	163 341,1
<b>Suunnitellut keskeytykset, asiakaskerrat [kpl]</b>	377	31 564
<b>Suunnitellut keskeytykset, asiakastunnit [h]</b>	596,7	66 241,9

**Taulukko 6.11.** Loiste Sähköverkon vikojen asiakaskertojen ja -tuntien vertailu pienjännite- ja keskijänniteverkkojen vioista vuodelta 2014 (Loiste 2015).

<b>2014</b>	<b>PJ-verkko</b>	<b>KJ-verkko</b>
<b>Vikakeskeytykset, asiakaskerrat [kpl]</b>	1 493	122 021
<b>Vikakeskeytykset, asiakastunnit [h]</b>	4 867,0	168 943,6
<b>Suunnitellut keskeytykset, asiakaskerrat [kpl]</b>	816	33 773
<b>Suunnitellut keskeytykset, asiakastunnit [h]</b>	1 060,3	60 749,0

## 7 JOHTOPÄÄTÖKSET

Tässä diplomityössä analysoitiin Loiste Sähköverkko Oy:ltä saatuja vikatilastotietoa pienjänniteverkoissa tapahtuneista vioista vuodesta 2005 lähtien. Analysointiin ja tutkimukseen kuului vikatyyppejen ja niiden aiheuttajien tarkastelu ilmajohto- ja kaapeliverkoissa. Muita tärkeitä tutkimusaiheita olivat vikojen kestoajkojen vertailu, luonnonilmiöiden vaikutus ja vikataajuuksien analysointi. Toinen merkittävä aihe oli verrata keskijännite- ja pienjänniteverkkojen vikojen vaikutusta asiakkaiden kokemiin sähkökatkoksiin.

### 7.1 Vikatyyppejen ja niiden aiheuttajien tarkastelu

Loiste Sähköverkon verkkovastuualueella pienjänniteverkoissa tapahtuneista vikatyypeistä yleisimmät olivat

- poikki menneet johdot/kaapelit
- yhdessä olevat johtimet
- oikosulku
- liitinvika
- maasulku/kaksoismaasulku.

Lisäksi esiintyi myös muita ja määrittelemättömiä sekä tuntemattomia vikatyyppejä, joiden merkitys jätetään vähemmälle tässä työssä. Painopiste on tunnetuissa ja määritellyissä vioissa.

Yhteensä tunnettuja ja määriteltyjä vikoja tapahtui ilmajohto- ja kaapeliverkossa 1 892 kappaletta. Alla on esitetty taulukko 7.1, josta nähdään näiden vikatyyppejen osuus ilmajohto- ja kaapeliverkon kesken. Tästä siis nähdään, kummassa verkkotyypissä eri vikatyyppejä esiintyi useammin.

**Taulukko 7.1.** Tunnettujen ja määriteltyjen vikatyyppejen osuudet eri verkkotyypeissä.

	Ilmajohtoverkko [%]	Kaapeliverkko [%]
Johdin/kaapeli poikki	29,4	16,6
Johtimet yhdessä	20,0	6,7
Oikosulku	14,0	4,9
Liitinvika	5,1	2,6
Maasulku/kaksoismaasulku	0,4	0,3

Taulukosta 7.1 voidaan tehdä johtopäätös, että ilmajohtoverkoissa tapahtui kaikkia tunnettuja ja määriteltyjä vikatyyppejä keskimäärin noin 70 prosenttia enemmän kuin kaapeliverkoissa. Erityisesti yhdessä olevia johtimia ja oikosulkuja esiintyi ilmajohtoverkoissa huomattavasti enemmän. Poikki menneitä johtimia oli hieman alle puolet enemmän kuin katkenneita kaapeleita. Myös liitinvikoja sattui noin puolet enemmän ilmajohtoverkossa. Maa- ja kaksoismaasulkujen määrä oli melko tasaista kummassakin verkkotyypissä.

Lähempi tarkastelu kuudennessa luvussa esitetyissä kuvissa 6.2 ja 6.9 kertovat, miksi ilmajohtoverkossa johdin katkesi useammin kuin kaapeliverkossa. Suurin syy oli luonnonilmiöt. Lumi ja jää, tuuli ja myrsky sekä muut sääolosuhteet katkoivat ilmajohtoja reilu neljä kertaa useammin kuin maan alla suojassa olevia maakaapeleita. Johtoja ja kaapeleita rikkoivat myös puun kaato ja maan kaivu. Jos näitä kahta tekijää verrataan keskenään, niin maan kaivu rikkoi maakaapeleita useammin kuin puun kaato ilmajohtoja. Tämä tekijä selittääkin, miksi poikkimenneitä kaapeleita esiintyi näinkin paljon, vaikka ne olivat suojassa maan alla.

Luvussa kuusi esitettyjen kuvien 6.3 ja 6.10 perusteella voidaan puolestaan tehdä johtopäätös, miksi yhdessä olevia johtimia esiintyi useammin ilmajohtoverkossa. Kuvan 6.3 mukaan tämän tyyppiset viat aiheutuivat pääosin luonnonilmiöistä, joista suurimmat tekijät ovat lumi ja jää sekä muut sääolosuhteet. Tämä selittää sen, että sääilmiöiltä suojassa olevat kaapelit eivät olleet yhtä vika-alttiita kuin ilmajohtot.

Myös oikosulkuja esiintyi ilmajohtoverkossa enemmän juuri luonnonilmiöiden vuoksi. Kuvista 6.4 ja 6.11 nähdäänkin valtava ero luonnonilmiöiden osalta. Yksinomaan ukkonen aiheutti oikosulkuja noin kolme kertaa enemmän ilmajohtoverkossa kuin kaapeliverkossa. Kaapeliverkko on suojassa luonnonilmiöiltä, mutta maan kaivamisesta aiheutuneita oikosulkuja on vaikea päästä kokonaan eroon, sillä kaapelin tarkka sijainti ei ole kaikilla tiedossa.

Liitinvikoja esiintyi melko harvoin kummassakin verkkotyypissä. Kuvista 6.5 ja 6.12 voidaan todeta, että rakennus-, hoito- ja käyttövirheet aiheuttivat kutakuinkin saman verran vikoja kumpaankin verkkotyyppiin. Huomioitavin ero kuitenkin oli se, että ilmajohtoverkossa luonnonilmiöt aiheuttivat liitinvikoja, kun kaapeliverkossa ne eivät aiheuttaneet.

Vähiten tapahtui maa-/kaksoismaasulkuja. Suurimman yksittäisen tekijän, ukkosen, voidaan havaita kuvista 6.6 ja 6.13. Ilmajohtoverkot kokivat useammin ukkosen aiheuttamia maa-/kaksoismaasulkuja, sillä maan alla olevat kaapelit ovat paremmin suojassa luonnonilmiöiltä.

Yhteenvedona voidaan tehdä johtopäätös siitä, että luonnonilmiöillä sekä maan kaivulla ja puun kaadolla on tärkein merkitys vikojen syntyyn. Vähemmän vika-alttiit, maan alla olevat kaapelit ovat paremmin suojassa luonnonilmiöiltä. Etenkin viime aikoina yleistyneet luonnon ääri-ilmiöt tulevat entisestäänkin vaikuttamaan ilmajohtoverkkojen vikoihin. Tämän todistaa liitteessä 2 esitetty kuva 2, jonka mukaan vuosien 2009 – 2011 aikana luonnonilmiöiden aiheuttamat pienjänniteverkon viat ovat kasvaneet noin 80 prosenttia pelkästään kaapeliverkon tapauksessa. Kasvu on ollut huimaa ja sen odotetaan kiihtyvän tulevaisuudessa muun muassa ilmastonmuutosten seurauksena. Liitteessä 1 olevasta kuvasta 1.A niin ikään voidaan todeta, että luonnonilmiöillä on suurin osuus pienjänniteverkon vikoihin. Tämän tekijän eliminointi vähentäisi tutkimusten mukaan pienjänniteverkon vikoja vähintään 50 prosenttia. Ilmajohtoverkkojen osalta

maakaapelointi vähentäisi merkittävästi sääolosuhteiden aiheuttamia vikakeskeytyksiä. Kaapelointi ei yksistään kuitenkaan poistaisi kokonaan luonnonilmiöiden aiheuttamia vikoja, kuten esimerkiksi taulukossa 6.2 (ks. sivu 45) on esitetty. Toinen keino olisi myös joko siirtää ilmajohtoverkkoa pois metsäisiltä alueilta tai raivata metsää verkon lähettäviltä. Tällöin raskas lumi sekä tuuli ja myrsky eivät pääsisi kaatamaan puita ilmajohdoille.

Maan kaivu puolestaan on ongelmana kaapeliverkkojen tilanteissa. Vaikeasti havaittavat kaapelit ovat hyvin vika-alttiita tahattoman maan kaivun aiheuttamille vioille. Tähän olisi ratkaisuna kaapelin rikkomisten ehkäisemiseksi niiden sijainnin merkitseminen paremmin, jotta kuka tahansa näkee heti, missä kaapelit sijaitsevat. Johtopäätöksien tueksi on myös sivulla 45 esitetty taulukko 6.2, josta nähdään eri vikojen aiheuttajien lukumäärät. Tämänkin mukaan luonnonvoimilla ja maan kaivulla sekä puun kaadolla on oleellinen osuus pienjänniteverkossa esiintyneihin vikoihin.

## **7.2 Vikojen kestojen tarkastelu**

Perusoletuksena oli, että vian kesto aika olisi kaapeliverkoissa pidempi kuin ilmajohtoverkoissa. Tätä asiaa tukee se, että ilmajohtoverkko on näkyvissä, joten vika havaittaisiin helpommin ja nopeammin, jolloin korjaus voisi alkaa myös nopeammin.

Saatujen tulosten mukaan Loiste Sähköverkko Oy:n pienjänniteverkon vikojen kestoajat olivat pidemmät ilmajohtoverkossa. Ero oli noin 20 minuuttia kaapeliverkon eduksi. Viat kestivät kaapeliverkossa kauemmin vain johdin/kaapelin katkeamisissa ja johtimien ollessa yhdessä. Tämä olikin oletettavissa, sillä maan alla olevien kaapeleiden korjaamiseen menee enemmän aikaa, koska vian paikantamiseen ja rikkoontuneiden kaapeleiden kaivamiseen tuhlaantuu aikaa. Myöskin varasyöttöyhteyksien mahdollisuus kaapeliverkoissa voi olla syynä tähän. Kun sähkön syöttö onnistuu helposti viereisestä muuntopiiristä, vioittunutta kaapelia ei tarvitse nopeasti korjata. Muissa tapauksissa vika saatiin paikannettua ja korjattua nopeammin kaapeliverkossa.

Saatujen tulosten perusteella voidaan tehdä johtopäätös, että Loiste Sähköverkon verkkovastuualueella keskimäärin viat saadaan poistettua nopeammin kaapeliverkosta. Tätä ei voida kuitenkaan yleistää kaikille Suomen pienjänniteverkoille, sillä verrattavia arvoja ei tähän tutkimukseen saatu. Tässä työssä ei myöskään otettu huomioon kestoajojen hajontaa. Yksittäisten pitkäkestoisten vikojen osuus voi siis vaikuttaa merkittävästi kestoajojen keskiarvoihin.

## **7.3 Vikojen kuukausitason tarkastelu**

Tässä diplomityössä tarkasteltiin vikoja kuukausitasolla, jotta saataisiin näkemys siitä, keskittyvätkö viat tiettyihin vuodenaikoihin, vai onko kuukaudella ja vuodenajalla ylipäättään mitään merkitystä vikatiheyksiin pienjänniteverkossa.



Tulosten perusteella voidaan päätellä, että vuodenajoilla on merkitystä ainakin ilmajohtoverkoissa tapahtuneiden vikojen osalta. Luvussa 6 esitetty kuva 6.20 havainnoi hyvin, että pienjännitteisen ilmajohtoverkon tapauksessa vikoja esiintyy selvästi useammin talvella ja kesällä. Kuvan perusteella voidaan sanoa, että talvikuukausina esiintyneet myrskyt, kuten Eino-myrsky vuonna 2013 ja Tapani-myrsky vuonna 2011 erottuvat kuvasta 6.20. Myös runsaslumiset talvet, kuten vuonna 2006 tammikuussa, näkyvät kuvasta. Kesäisin ilmajohtoverkkoja häiritsevät viime aikoina voimistuneet ukkoset.

Kuvasta 6.21 puolestaan nähdään, että kaapeliverkoissa vuodenaajalla ei ole yhtä suurta merkitystä kuin ilmajohtoverkon puolella.

Näistä voidaan olettaa, että ilmajohtoverkko on kaapeliverkkoa alttiimpi vuodenaikojen vaihtelusta aiheutuville vioille. Johtopäätöstä tukee myös liitteessä 1 esitetty kuva 1.C, josta nähdään, että talvella yleisemmin esiintyvät myrskyt ja lumi aiheuttavat paljon vikoja pienjänniteverkkoon.

## 7.4 Vikataajuuksien tarkastelu

Vikataajuuksia tarkastelemalla voidaan päätellä, kuinka usein vikoja tapahtuu keskimäärin kummassakin verkkotyypissä. Luvussa 6 esitetty kuva 6.23 kertoo hyvin Loiste Sähköverkon pienjänniteverkon vikataajuuksien kehittymisestä viimeisten yhdeksän vuoden aikana sekä ilmajohto- että kaapeliverkossa. Tästä kuvasta voidaan todeta, että ilmajohtoverkossa vikataajuus on keskimäärin pysynyt samana koko tarkasteluajanjakson ajan. Pieniä heittoja vuosittain kuitenkin on, mutta ne ovat johtuneet esimerkiksi siitä, että vuosittain esiintyy eri määrä myrskyä. Myöskin talvisin lumimäärä on vaihdellut vuosittain. Kuvan 6.23 mukaan vikataajuus kaapeliverkossa on puolestaan noussut huomattavasti. Esimerkiksi vuonna 2012 vikataajuus oli suurempi kaapeliverkossa kuin ilmajohtoverkossa. Kaapeliverkon vikataajuuden nousua voidaan perustella siten, että kaapelit ovat ikääntyneet ja sen takia vikoja on alkanut ilmetä viime vuosina yhä enemmän. Toinen syy tähän lienee myös roudassa ja tulvavesien nousussa jakokaapeille.

Erästä toisesta suomalaiselta verkkoyhtiöltä saatujen tietojen mukaan lasketut vikataajuudet kuitenkin poikkeavat Loiste Sähköverkon pienjänniteverkon vikataajuuksista. Liitteessä 1 olevassa kuvassa 1.D on esitetty vuoden 2013 PJ-verkon vikataajuudet kummassakin verkkotyypissä. Ilmajohtoverkon vikataajuus on samaa luokkaa Loisteen kanssa, mutta kaapeliverkon vikataajuus on huomattavasti pienempi. Muidenkin lähteiden mukaan kaapeliverkossa vikataajuus yleensä on tätä luokkaa.

## 7.5 Keski- ja pienjänniteverkon vikojen tarkastelu

Keski- ja pienjänniteverkon vikojen tarkastuksella oli tavoitteena tutkia, mikä osuus sähkönkäyttäjien kokemiin katkoksiin pienjänniteverkon vioilla on verrattuna keskijänniteverkon vikoihin.

Keskimäärin vikoja sattuu enemmän pienjänniteverkon puolella. Tätä väitettä tukee sivulla 53 esitetty taulukko 6.8, josta nähdään vikakeskeytysten lukumäärät kummassakin verkkotyypissä. Ero siinä ei kuitenkaan ole merkittävän suuri. Suunnitelluissa keskeytyksissä kuitenkin KJ-verkolla on suurempi osuus.

Taulukosta 6.10 nähdään, että vaikka keskimäärin vikoja tapahtuu pj-verkossa enemmän, vikakeskeytyksistä johtuvat asiakaskerrat ja -tunnit ovat hyvin paljon suuremmat keskijänniteverkon puolella.

Edellä mainittujen asioiden perusteella voidaan tehdä johtopäätös, että vikakeskeytyksistä ja suunnitelluista keskeytyksistä aiheutuneet asiakaskerrat ja -tunnit aiheutuvat suurimmaksi osin kj-verkosta. Tämän vuoksi pienjänniteverkossa tapahtuneet viat ovat jääneet keskijänniteverkon vikojen varjoon, sillä vain pieni osa asiakkaan kokemista keskeytyksistä on peräisin PJ-verkon vioista.

## 8 YHTEENVETO

Tämän diplomityön tarkoituksena oli analysoida Loiste Sähköverkko Oy:n pienjänniteverkossa esiintyneitä vikoja vuosien 2005 – 2014 aikana. Analysointi käytiin erikseen ilmajohto- ja kaapeliverkoissa.

Analysoinnin perusteella voitiin tehdä johtopäätökset, joiden mukaan pienjänniteverkossa vikoja tapahtui noin 70 prosenttia enemmän ilmajohtoverkossa kuin kaapeliverkossa. Tähän suurin syy oli luonnonilmiöillä, joita olivat tuuli ja myrsky, lumi ja jää sekä ukkonen. Saatujen tulosten perusteella voitiin myös todeta, että kummassakin verkkotyypissä yleisimmät vikatyypit olivat johtojen/kaapeleiden meneminen poikki ja johtimien osuminen toisiin. Vikoja tarkasteltiin myös kuukausitasolla, ja tästä pystyttiinkin päättämään, että ilmajohtoverkossa vikoihin vaikutti kuukausien vaihtelu enemmän. Esimerkiksi kesällä ukkoset ja talvisin esiintyvät lumi ja jää sekä myrskyt vaikuttivat paljolti ilmajohtoverkon vikoihin. Työssä analysointiin kuului lisäksi vikataajuuksien määrittäminen. Tulokseksi saatiin, että kaapeliverkon vikataajuus on hieman suurempi kuin ilmajohtoverkon. Vikataajuus kaapeliverkossa on analysoinnin mukaan ollut kasvussa vuodesta 2009 asti. Tähän kuitenkin voi olla syynä esimerkiksi routa, kevät aikoina tulvavesien nousu jakokaapeille sekä kaapeleiden ikääntyminen.

Työn kannalta eräs tärkeä tutkimuksen kohde oli verrata ilmajohto- ja kaapeliverkkojen vikojen kestoajoja. Tulosten mukaan kaapeliverkoissa tapahtuneet viat kestivät keskimäärin noin 20 minuuttia vähemmän aikaa kuin ilmajohtoverkoissa. Tähän syynä hyvin todennäköisesti on se, että esimerkiksi kaapeliverkoissa sulakkeiden vaihto suoritetaan nopeammin, koska kaapeliverkko sijaitsee pääasiassa taajamissa, joissa myös sulakkeita päästään vaihtamaan nopeammin. Vikojen kestoissa ei ollut huomioitu myöskään hajontaa, joten on hyvinkin mahdollista, että yksittäiset pitkäkestoiset viat vaikuttivat saatuihin tuloksiin.

Tässä työssä tutkittiin ja verrattiin myös pien- ja keskijänniteverkkojen vikoja ja niiden vaikutuksia sähkönkäyttäjille. Tulokseksi saatiin, että vaikka vikoja tapahtuikin pienjänniteverkon puolella enemmän, keskijänniteverkoissa viat aiheuttavat suuremmat vaikutukset asiakkaiden kokemiin asiakastunteihin. Toisin sanoen, koska asiakkaita on enemmän keskijännitelähdön takana, yksi KJ-vika aiheuttaa suuremmalle asiakasmäärälle enemmän haittaa.

Tämän diplomityön toinen oleellinen ja tärkeä tavoite oli käydä läpi pienjänniteverkon vikatilastointia ja selvittää mahdollisia kehitysideoita prosessin tehostamiseksi. Tutkimus osoitti, että nykyään kaikissa pienjännitevikatilanteissa asiakkaan tulee ilmoittaa verkkoyhtiölle sähkökatkoksista. Tässä työssä eräs kehitysidea oli, että ilmoitus viasta tulisi automaattisesti, jolloin asiakkaan ei tarvitsisi enää soittaa vikailmoitusnumeroon. Tähän onkin olemassa ratkaisu, jota ei nykytekniikalla kuitenkaan ole vielä mahdollista toteuttaa. AMR-mittareilla onkin mahdollista kaksisuuntaiseen kommunikaatioon, mutta

siitä löytyi tutkimuksessa ongelmia, joiden vuoksi vikailmoituksia ei voida täysin aukottomasti tehdä. Tämä onkin ongelma, jota tulisi kehittää tulevaisuudessa entisestään.

## LÄHTEET

- (ABB 2014) ABB. Pienjännitekojeet. Kahvasulakkeet, 2... 1600 A gG- ja aM- tyyppit. [WWW]. [Viitattu 5.11.2014]. Saatavissa: <http://www.momenthits.fi/ESV5230/kahvasulakkeet.pdf>.
- (Bloemhof et al. 2001) Bloemhof, G. A. & Hulshorst, W. T. J. & Janssen, J. 2001. 25 years outage data, ready for the future. CIRED2001. IET Conference Publication No. 482. S. 18 – 21. [Viitattu 27.10.2014]. DOI: 10.1049/cp:20010761.
- (Calvas & Lacroix 2004) Calvas, R. & Lacroix, B. 2004. Cahier technique no. 172. System earthings in LV. Schneider Electric. 30 s.
- (Eastwood et al. 2008) Eastwood, G. & Lees, M. & Roberts, D. 2008. LVSure Concept for Automation of LV Distribution Networks. CIRED Seminar 2008: SmartGrids for Distribution, Frankfurt, June 2008. S. 1 – 4.
- (Elenia 2014) Elenia. Älykkään säävarman sähköverkon kehitys. [WWW] [Viitattu 28.10.2014]. Saatavissa: <http://www.elenia.fi/sites/default/files/%C3%84lykk%C3%A4%C3%A4n%20s%C3%A4%C3%A4varman%20s%C3%A4hk%C3%B6verkon%20kehitys.pdf>.
- (Energiateollisuus 2013) Energiateollisuus. Keskeytystilasto 2013. [WWW]. [Viitattu 7.1.2015]. Saatavissa: [http://energia.fi/sites/default/files/dokumentit/sahkomarkkinat/Sahkoverkko/keskeytystilasto\\_2013.pdf](http://energia.fi/sites/default/files/dokumentit/sahkomarkkinat/Sahkoverkko/keskeytystilasto_2013.pdf).
- (Energiateollisuus 2014a) Energiateollisuus. Verkon rakenne. [WWW]. [Viitattu 30.10.2014]. Saatavissa: <http://energia.fi/sahkomarkkinat/sahkoverkko/verkon-rakenne>.
- (Energiateollisuus 2014b) Energiateollisuus. Sähkökatkot ja jakelun keskeytykset. [WWW]. [Viitattu 11.11.2014]. Saatavissa: <http://energia.fi/sahkomarkkinat/sahkoverkko/sahkokatkot-ja-jakelun-keskeytykset>.

- (Energiavirasto 2009) Energiamarkkinavirasto. 2009. Tiekartta 2020 -hanke. Sähköverkkotoiminnan megatrendit 2010-luvulla. [WWW]. [Viitattu 8.1.2015]. Saatavissa: [http://www.energiavirasto.fi/documents/10179/0/Sahkoverkkotoiminnan\\_megatrendit\\_vuoteen\\_2020.pdf/2ad05ef3-f409-4ff6-9aef-f7adf2a0e19c](http://www.energiavirasto.fi/documents/10179/0/Sahkoverkkotoiminnan_megatrendit_vuoteen_2020.pdf/2ad05ef3-f409-4ff6-9aef-f7adf2a0e19c).
- (Energiavirasto 2013) Energiavirasto. Sähköverkkotoiminnan tunnusluvut 2013. [WWW]. [Viitattu 16.12.2014]. Saatavissa: <http://www.energiavirasto.fi/sahkoverkkotoiminnan-tunnusluvut-2013>.
- (Energiavirasto 2015) Energiavirasto. Muut tilastot. [WWW]. [Viitattu 20.2.2015]. Saatavissa: <http://www.energiavirasto.fi/muut-tilastot>.
- (Garcia-Santander et al. 2005) Garcia-Santander, L. & Batard, P. & Petit, M. & Gal, I. & López, E. & Opazo, H. 2005. Down-conductor fault detection and location via a voltage base method for radial distribution networks. Generation, Transmission and Distribution, IET Journals & Magazines. IEE Proceedings. Volume: 152. S. 180 – 184. [Viitattu 30.10.2014]. DOI: 10.1049/ip-gtd:20041300.
- (Horton & van Luijk 2006) Horton, S. L. & van Luijk, N. G. 2006. Low Voltage Fault Detection and Localisation Using the Topas 1000 Disturbance Recorder. Electrical Power Quality and Utilisation, Magazine Vol. II, No. 1, 2006. S. 27 – 32.
- (Järventausta et al. 2007) Järventausta, P. & Mäkinen, A. & Kivikko, K. & Verho, P. & Kärenlampi, M. & Chrons, T. & Vehviläinen, S. & Trygg, P. & Rinta-opas, A. 2007. Using Advanced AMR System In Low Voltage Distribution Network Management. CIRED. 19<sup>th</sup> International Conference on Electricity Distribution. Vienna, May 2007. 4 s.
- (Kainuunliitto 2013) Kainuunliitto. 2013. Tilasto, väkiluku, pinta-ala, asukastiheys, 2013. [Viitattu 16.12.2014].
- (Karppanen 2012) Karppanen, J. 2012. Sähkötuotannon pienjänniteverkkoon liittäminen – määräykset ja sähköturvallisuus. Diplomityö. Lappeenrannan teknillinen yliopisto. Teknillinen tiedekunta, sähkötekniikka. Lappeenranta. 123 s.

- (Kumpulainen et al. 2006) Kumpulainen, L. & Laaksonen, H. & Komulainen, R. & Martikainen, A. & Lehtonen, M. & Heine, P. & Silvast, A. & Imris P. & Partanen, J. & Lassila, J. & Kaipia, T. & Viljainen, S. & Verho, P. & Järventausta, P. & Kivikko, K. & Kauhaniemi, K. & Lågland, H. & Saaristo, H. 2006. Verkkovisio 2030 – Jakelu- ja alueverkkojen teknologiavisio. VTT, Espoo. 89 s. [Viitattu 15.12.2014]. Saatavissa: <http://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/2006/T2361.pdf>.
- (Lakervi & Holmes 1995) Lakervi, E. & Holmes, E. J. 1995. Electricity distribution network design. 2<sup>nd</sup> Edition. Englanti. The Institution of Electrical Engineers. 325 s. ISBN 0 86341 308 0.
- (Lakervi & Partanen 2008) Lakervi, E. & Partanen, J. 2008. Sähkönjakelutekniikka. Helsinki. Otatieto Oy. 285 s. ISBN 978-951-672-357-3.
- (Lakervi & Simola 1993) Lakervi, E. & Simola, O. 1993. Sähkönjakelu. Teoksessa: Suomen energiatekniikan historia – Teknis-historiallinen tutkimus energian tuottamisesta ja käytöstä Suomessa 1840 – 1980. Osa 2. Julkaisuja 115. Tampereen teknillinen korkeakoulu. ISBN 951-722-008-1. s. 109 – 121.
- (Livie et al. 2007) Livie, J. & Gale, P. & Wang, A. 2007. Experience with On-Line Low Voltage Cable Fault Location Techniques in Scottish Power. CIRED. 19<sup>th</sup> International Conference on Electricity Distribution. Vienna May 2007. S. 1 – 4.
- (Livie et al. 2008) Livie, J. & Gale, P. & Wang, A. 2008. The Application of On-Line Travelling Wave Tehniques in the Location of Intermittent Faults on low Voltage Underground Cables. Developments in Power System Protection, 2008. IET Conference Publications. S. 714 – 719.
- (Loiste 2014a) Loiste. Suojaus ukkosylijännitteiltä. [WWW]. [Viitattu 3.12.2014]. Saatavissa: <http://www.loiste.fi/files/suojaus-ukkosylijannitteiltapdf>.
- (Loiste 2014b) Loiste. Loiste-konserni. [WWW]. [Viitattu 26.11.2014]. Saatavissa: <http://www.loiste.fi/loiste-yhtiöt/tietoa-yhtiöstä/loiste-konserni>.
- (Loiste 2015) Loiste. Keskeytystilastoa kuukausitasolla 2013 – 2014.

- (Löf 2009) Löf, N. 2009. Pienjänniteverkon automaattioratkaisuiden kehitysnäkymät. Diplomityö. Tampereen teknillinen yliopisto. Tampere. 116 s. + liit. 3 s.
- (Mäkinen et al. 2013) Mäkinen, A. & Pikkarainen, M. & Pakonen, P. & Järventausta, P. 2013. Neutral Fault Management In LV Network Operation Supported By AMR System. CIRED. 22<sup>nd</sup> International Conference on Electricity Distribution. Stockholm, June 2013. 4 s.
- (Niskanen 2014) Niskanen, J. 2014. Sähköpostikeskustelu. 29.12.2014.
- (Niskanen 2015) Niskanen, J. 2015. Sähköpostikeskustelu. 19.2.2015.
- (Partanen 2013) Partanen, J. 2013. Säävarma sähkönjakeluverkko. Verkostomessun esityskalvot. Tampere. [Viitattu 3.11.2014]. Saatavissa: [http://energia.fi/sites/default/files/dokumentit/ajankohtaista/Tapahtumat/2013/saavarmaverkko\\_jpartanen.pdf](http://energia.fi/sites/default/files/dokumentit/ajankohtaista/Tapahtumat/2013/saavarmaverkko_jpartanen.pdf).
- (PJ-johtopituudet 2014) Loiste-verkkoyhtiön tilasto Loiste Sähköverkon pienjänniteverkon johtopituuksista ajalta 1950 – 2013.
- (PJ-viat 2014) Loiste-verkkoyhtiön tilasto Loiste Sähköverkon pienjänniteverkon vioista ajalta 2005 – 2014.
- (Rissanen 2010) Rissanen, R. 2010. Teollisuuden sähköasennukset ja verkot. Luentomateriaali. Savonia-ammattikorkeakoulu. Kuopio.
- (SA 2:08) SA 2:08. Pienjänniteverkon ja jakelumuuntajan sähköinen mitoittaminen. Verkostosuositus. Energiateollisuus ry, Helsinki, 2008. 35 s.
- (SebaKMT 2014) SebaKMT. Cable Fault Location in Power Cables. Fault Location in Low Voltage Networks. [WWW]. [Viitattu 4.11.2014]. Saatavissa: <http://www.sebakmt.com/fileadmin/files/applikationsseiten/fehlerortung/7-Fault-location-low-voltage-en.pdf>.
- (Short 2004) Short, T. A. 2004. Electric Power Distribution Handbook. Boca Raton, London, New York, Washington D.C. CRC Press LLC. 773 s. ISBN 0-8493-1791-6.

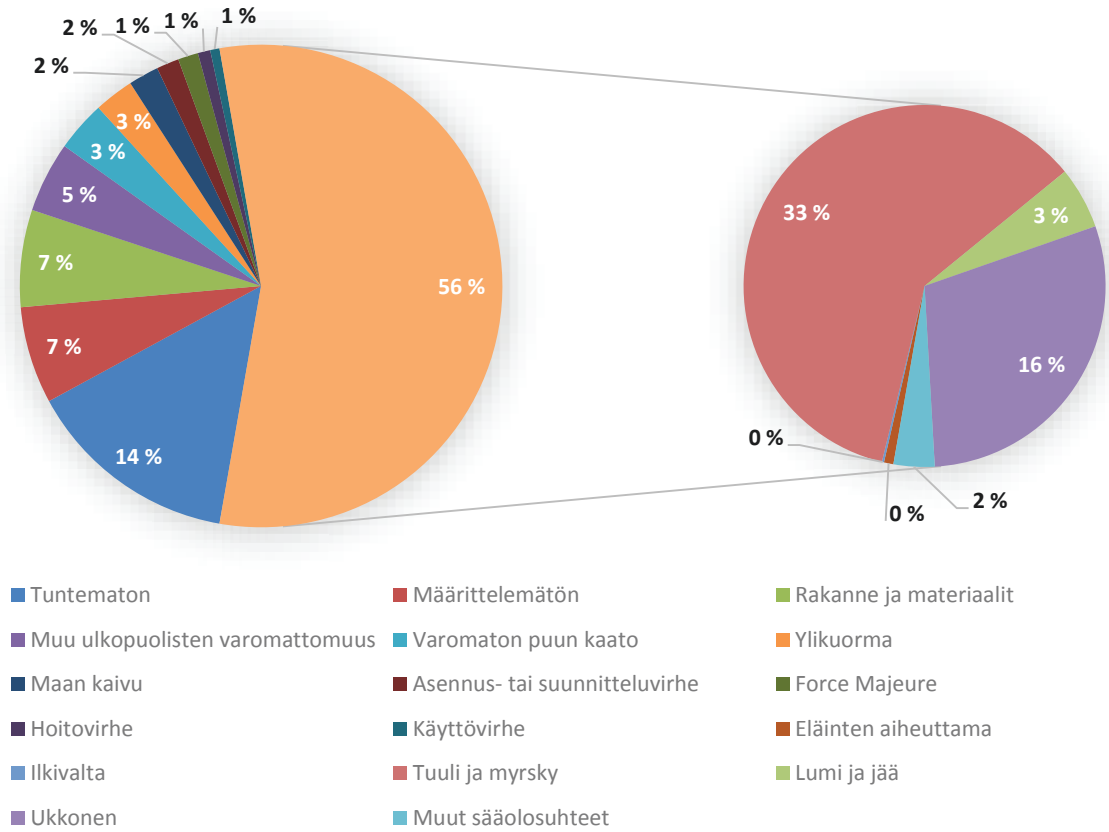


- (Siew et al. 2007) Siew, W. & Soraghan, J. & Stewart, M. & Fisher, D. & Fraser, D. & Asif, M. 2007. Intelligent Fault Location for Low Voltage Distribution Networks. CIRED. 19<sup>th</sup> International Conference on Electricity Distribution. 4 s.
- (Simonen 2006) Simonen, M. 2006. Sähkönjakeluverkon suunnitteluperusteet. Diplomityö. Lappeenranta teknillinen yliopisto. Sähkötekniikan osasto. Lappeenranta. 109 s.
- (STUK 2014) STUK. Jakelumuuntamot. [WWW]. [Viitattu 10.11.2014]. Saatavissa: [http://www.stuk.fi/sateily-ymparistossa/kodin-smg-kentat/fi\\_FI/jakelumuuntamot/](http://www.stuk.fi/sateily-ymparistossa/kodin-smg-kentat/fi_FI/jakelumuuntamot/).
- (Tekla 2014) Tekla. Trimble DMS. [WWW]. [Viitattu 18.12.2014]. Saatavissa: <http://www.tekla.com/fi/tuotteet/trimble-dms>.
- (Tolonen 2011) Tolonen, J. 2011. Vaihtoehtoja sähkön toimitusvarmuuskriteeristön tavoitteiden saavuttamiseksi maaseutumaisessa jakeluverkkoyhtiössä. Diplomityö. Tampereen teknillinen yliopisto, automaatiotekniikan koulutusohjelma. Tampere. 100 s.
- (TUKES 2014) TUKES. Sähköjohdoista aiheutuva vaara rannoilla, vesillä ja muilla ulkoalueilla. [WWW]. [Viitattu 27.10.2014]. Saatavissa: [http://www.tukes.fi/kodinsahkoturvallisuus/2\\_7.html](http://www.tukes.fi/kodinsahkoturvallisuus/2_7.html).
- (Valdes 2008) Valdes, M. 2008. Ground fault protection in low voltage solidly grounded wye systems, need for protection and the need for reliability. IEEE Conference Publications. S. 1 – 9. [Viitattu 5.11.2014]. DOI: 10.1109/ICPS.2008.4606295.
- (Walton 2001) Walton, C. M. 2001. Incipient Fault Detection and Management Of Underground LV Networks. Electricity Distribution, 2001. Part 1: Contributions. CIRED. 16<sup>th</sup> International Conference and Exhibition on (IEE Conf. Publ No. 482) Vol. 3. 5 s.

# LIITTEET

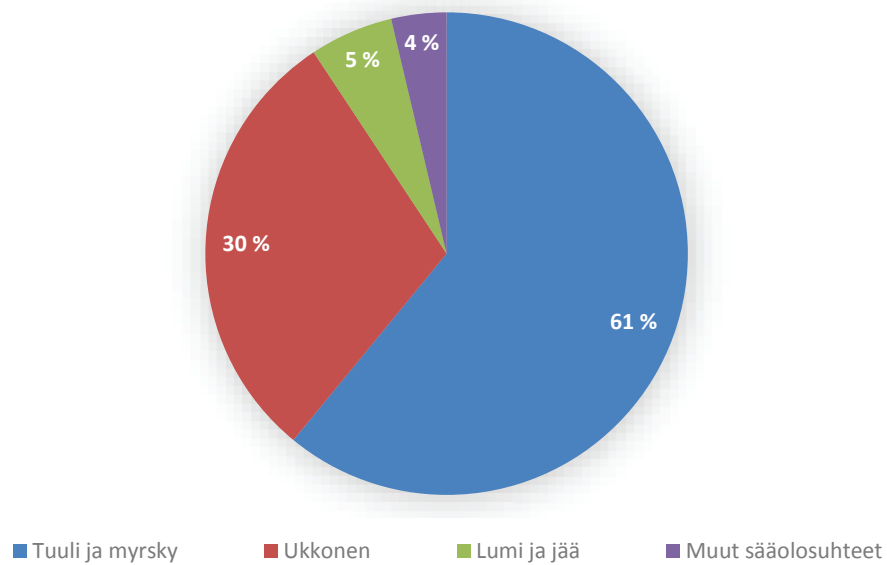
## Liite 1: Verkkoyhtiö A:n vikatilastoja

### A Vikojen aiheuttajat



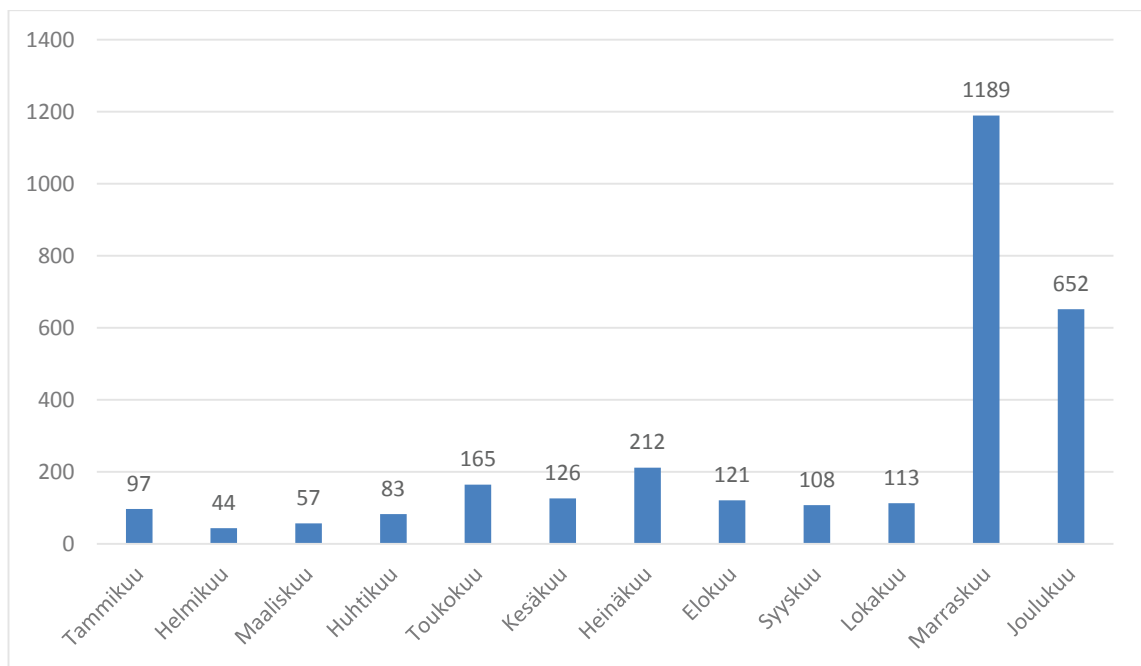
**Kuva 1.A.** Pienjänniteverkossa vuonna 2013 tapahtuneiden vikojen aiheuttajat

## B Luonnonilmiöiden vaikutus



**Kuva 1.B.** Luonnonilmiöiden vaikutus pienjänniteverkon vikoihin vuodelta 2013

## C Vikahavainnot kuukausitasolla



**Kuva 1.C.** Pienjänniteverkon vikahavainnot vuodelta 2013

## D Vikataajuudet

*Taulukko 1.D. Pienjänniteverkon johtopituudet ilmajohto- ja kaapeliverkossa*

	Ilmajohto [km]	Kaapeli [km]
2013	14 656,6	3 606,9

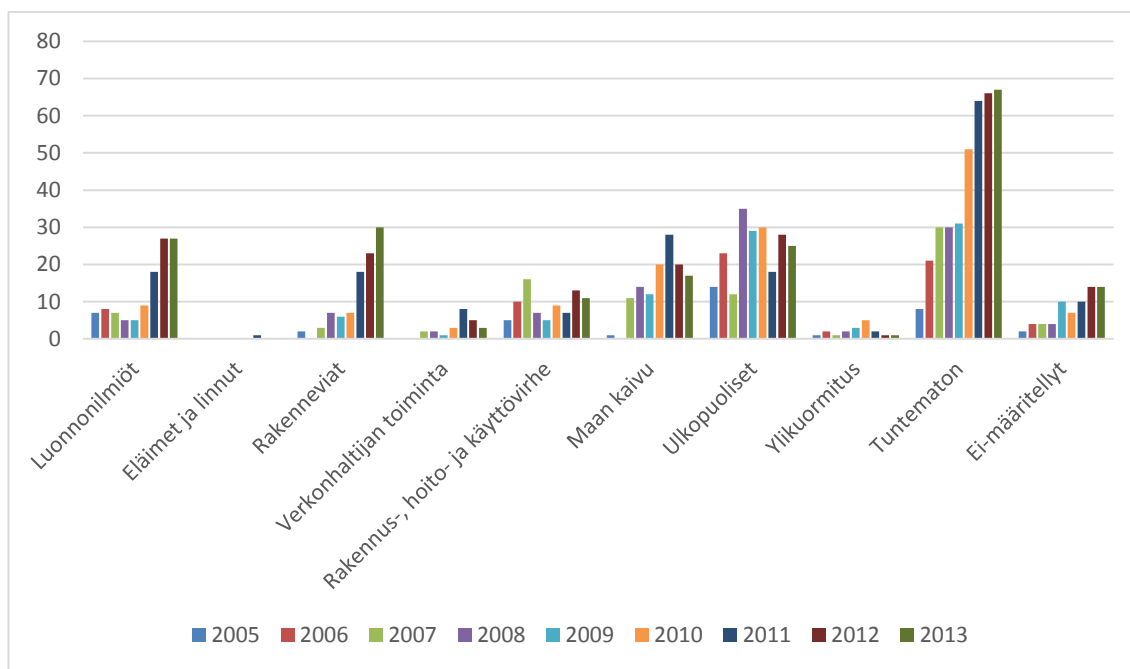
*Taulukko 2.D. Pienjänniteverkossa tapahtuneiden vikojen lukumäärät ilmajohto- ja kaapeliverkossa vuodelta 2013*

	Ilmajohto [kpl]	Kaapeli [kpl]
2013	1151	100

*Taulukko 3.D. Pienjänniteverkon vikataajuudet ilmajohto- ja kaapeliverkossa vuodelta 2013*

	Ilmajohto [vikaa/100 km]	Kaapeli [vikaa/100 km]
2013	7,85	2,77

## Liite 2: Loiste Sähköverkko Oy:n vikatilastoa



**Kuva 2.** Loiste Sähköverkko Oy:n pienjännitteisessä kaapeliverkossa tapahtuneet viat jaoteltuna vikatyyppeihin ajalta 2005 – 2013. (PJ-viat 2014).